



GOBIERNO
DE LA PROVINCIA
DEL NEUQUÉN

SECRETARÍA DE DESARROLLO
TERRITORIAL Y AMBIENTE
SUBSECRETARÍA DE AMBIENTE



SISTEMAS DE DISPOSICIÓN FINAL DE EFLUENTES MEDIANTE REÚSO PARA RIEGO

*Bases Metodológicas para su Diseño y
Evaluación*

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL COMAHUE
INSTITUTO DE TIERRAS, AGUA Y MEDIO AMBIENTE**

Alén Martín - Federico Horne - Gabriela Polla

Contenido

Introducción.....	4
1. Sección I - Características generales.....	5
1.1. Características del Sistema de Tratamiento de Efluentes y Componentes.....	5
1.1.1. Nutrientes de Diseño.....	5
1.1.2. Macro y Micronutrientes.....	7
1.1.3. Salinización e Iones Específicos.....	8
1.1.4. Materia Orgánica.....	9
1.1.5. Sólidos Suspendidos.....	10
1.1.6. pH.....	10
1.1.7. Microorganismos.....	11
1.1.8. Metales Pesados y Elementos Traza.....	13
1.1.9. Contaminantes Orgánicos.....	14
1.2. Estándares de Calidad Propuestos.....	15
1.3. Cultivos Permitidos y Objetivos Productivos.....	17
1.4. Características del Balance de Nutrientes, Extracción y Absorción....	18
1.4.1. Importancia del Balance de Nutrientes.....	19
1.4.2. Balance de Nitrógeno.....	20
1.4.3. Balance de Fósforo.....	25
1.5. Métodos de Riego Permitidos.....	28
1.6. Sistemas de Almacenamiento.....	30
1.6.1. Objetivos y Diseño.....	30
1.6.2. Operación.....	31
1.6.3. Contingencias.....	31
1.7. Clasificación de Establecimientos y Contaminantes Químicos.....	32
1.8. Características de Sitio y Manejo.....	33
1.8.1. Requerimientos de Sitio.....	33
1.8.2. Condiciones Iniciales.....	35
1.8.3. Planificación del Agroecosistema.....	36
1.8.4. Operación de Riego y Manejo del Suelo.....	37
1.8.5. Instalación de la Red Freatimétrica.....	38
1.9. Monitoreo.....	38
1.9.1. Riego y Almacenamiento.....	39

1.9.2. Efluente.....	40
1.9.3. Suelo.....	40
1.9.4. Agua Freática.....	41
1.9.5. Cultivos.....	42
1.10. Manejo del Riesgo Sanitario.....	43
2. Sección II - Requisitos de la presentación.....	46
2.1. Sistemas de Tratamiento Proyectados o Existentes sin Reúso actual de efluentes.....	46
2.1.1. Requerimientos de Sitio y Estudio de Suelo.....	46
2.1.2. Funcionamiento General y Carga Anual.....	48
2.1.3. Planificación productiva.....	51
2.1.4. Estimación de la carga hidráulica de diseño.....	52
2.1.5. Ajuste de área a irrigar.....	58
2.1.6. Diseño Preliminar del Sistema de Riego.....	59
2.1.7. Diseño Detallado del Sistema de Riego.....	62
2.1.8. Red Freatimétrica.....	63
2.1.9. Plan de monitoreo.....	63
2.1.10. Plano del Establecimiento.....	67
2.2. Sistemas de Tratamiento con Reúso de efluentes.....	67
2.2.1. Estudio de Sitio y Suelo.....	68
2.2.2. Funcionamiento General y Carga Anual.....	70
2.2.3. Descripción del sistema de riego actual.....	72
2.2.4. Planificación productiva.....	73
2.2.5. Estimación de la carga hidráulica de diseño.....	73
2.2.6. Verificación del Sistema.....	80
2.2.7. Ajuste de área a irrigar.....	81
2.2.8. Diseño Preliminar del Sistema de Riego.....	82
2.2.9. Diseño Detallado del Sistema de Riego.....	85
2.2.10. Red Freatimétrica.....	87
2.2.11. Plan de monitoreo.....	87
2.2.12. Plano del Establecimiento.....	91
3. Excepciones y Alternativas.....	91
Debidas a los volúmenes de almacenamiento.....	91
Bibliografía.....	93

Introducción

En el marco de la regularización de los sistemas de tratamiento de efluentes cloacales e industriales se solicitó al Instituto de Tierras, Agua y Medio Ambiente (ITAMA) de la Universidad Nacional del Comahue un estudio para establecer las bases metodológicas que sustenten una reglamentación para la autorización del uso de efluentes en irrigación de sistemas vegetales, como parte de una última etapa del tratamiento de efluentes líquidos cloacales y/o industriales; el estudio también brindará los criterios para la evaluación y fiscalización del sistema.

El objetivo de este trabajo es proporcionar una metodología que permita el diseño y evaluación de sistemas de disposición final de efluentes mediante reúso para riego, y a su vez incorpore criterios que permitan su monitoreo y fiscalización por parte de las autoridades correspondientes. Para ello, en función de una serie de criterios fundamentados en la bibliografía sobre el tema y la opinión de diversos especialistas, se estableció una secuencia metodológica a seguir por los responsables de los establecimientos para obtener la autorización por parte de la Subsecretaría de Ambiente de la Provincia del Neuquén.

La metodología fue diseñada con el objetivo de dar disposición final a los efluentes generados en los sistemas de tratamiento de los establecimientos. De esta manera se busca evitar su vuelco a acuíferos con la consecuente contaminación producida tanto del cuerpo receptor suelo como del cuerpo receptor agua (superficial, subsuperficial y/o profunda). Para ello se propone la utilización de dichos efluentes para el riego dentro de sistemas especialmente diseñados para darles tratamiento y monitoreados para evitar y minimizar los impactos producidos.

La utilización de aguas residuales para riego puede generar impactos ambientales, sanitarios y culturales. Se trabajó con el enfoque de cuantificación y disminución de riesgos propuesto por la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2006) en la elaboración de las pautas de diseño y monitoreo. Se hizo especial hincapié en el riesgo sanitario que significa regar con aguas residuales para los trabajadores, sus familias, comunidades cercanas y posibles consumidores de la materia prima generada.

El presente informe consta de dos secciones. La primera sección se denominó "Características generales" y en ella se realiza un desarrollo teórico para establecer criterios referidos al diseño y manejo de los sistemas de tratamiento mediante disposición final de efluentes. Consta también de una segunda sección denominada "Requisitos de la presentación" en donde se enumeran los requisitos mínimos que deberían tener las presentaciones para caracterizar los sistemas proyectados y facilitar las tareas de evaluación y fiscalización por parte de los funcionarios correspondientes.

1. Sección I – Características generales

1.1. Características del Sistema de Tratamiento de Efluentes y Componentes

El sistema de tratamiento propuesto en esta normativa está basado en la aplicación de los efluentes al suelo para ser tratados y aprovechados mediante cultivos. Estos sistemas se denominan “Sistemas de Tratamiento por Infiltración Lenta” (Crites, 2014)(WEF, 1990) y consisten en el tratamiento natural de las aguas residuales mediante una aplicación planificada y controlada en cultivos, hecho por el cual permiten el “Reúso Agrícola” de los efluentes.

Los objetivos perseguidos en este tipo de sistemas incluyen el tratamiento de aguas residuales, el reúso del agua para riego, el aprovechamiento de nutrientes y su disposición final. En este trabajo el objetivo principal fue el diseño de sistemas que permitan dar tratamiento y disposición final a los efluentes provenientes de sistemas de tratamientos para evitar el vuelco, contaminación y eutrofización del cuerpo suelo y de los cursos de agua y de los acuíferos.

Se menciona la eficiencia de estos sistemas para dar tratamiento a los principales componentes de los efluentes cloacales e industriales en numerosos trabajos (OMS, 2006)(WEF, 1990)(Crites, 2014)(US-EPA, 2006). Estos trabajos sirven como base para establecer los criterios que definen los límites máximos de vertido y las características de diseño y manejo de los sistemas.

A continuación se describen los principales componentes de los efluentes, sus características, riesgos que implica su volcado al suelo, formas de remoción y criterios tenidos en cuenta para establecer límites máximos de vertido. Fueron agrupados por categorías según importancia, forma de tratamiento y peligro potencial.

1.1.1. Nutrientes de Diseño

Esta categoría agrupa al nitrógeno y al fósforo. Estos dos elementos están siempre presentes en los efluentes cloacales e industriales y su concentración es tomada en cuenta como factor de diseño de las láminas hidráulicas de aplicación. Por este motivo no se establecen concentraciones máximas para su disposición.

Se mencionan a continuación algunas características de cada uno de ellos. Se detallan otros aspectos, su importancia y la metodología de diseño de

láminas según concentraciones en la sección 1.4 Características del Balance de Nutrientes.

Nitrógeno

El nitrógeno es un macronutriente presente en efluentes tanto cloacales como industriales. Se lo puede encontrar como nitrato, amoníaco, nitrito o nitrógeno orgánico y la suma de todos estos componentes se denomina nitrógeno total (OMS, 2006, Cap 8). El equilibrio entre ellos varía de acuerdo a las condiciones físicas y bioquímicas del medio (Crites, 2014, Cap 3).

Este nutriente es degradado en el sistema suelo - planta mediante la absorción, la volatilización del amoníaco y la nitrificación - desnitrificación. La absorción por la planta ocurre principalmente en forma de nitratos pero las otras formas suelen transformarse en ellos cuando se aplican al suelo (OMS, 2006, Cap 8). La volatilización y desnitrificación son procesos que representan una salida significativa de este componente y su magnitud depende principalmente del pH, la temperatura y la relación C:N del efluente.

Los principales problemas en la aplicación de efluentes con nitrógeno se originan por la alta solubilidad del nitrato y su facilidad para lixiviarse y afectar acuíferos subterráneos (OMS, 2006, Cap 8). Cuando estos últimos están contaminados representan un riesgo sanitario potencial si se utilizan para consumo humano debido a la posibilidad de producir metahemoglobinemia en niños (OMS, 2006, Cap 3). Si el nitrato llega a cuerpos de agua superficiales puede afectar la vida de peces y causar eutrofización (Crites, 2014, Cap 3).

Si bien la aplicación de nitrógeno en los efluentes puede generar afectaciones sanitarias y ambientales, pueden manejarse los riesgos mediante prácticas adecuadas. Se propone en esta metodología la estimación de láminas máximas de aplicación en función de la concentración de nitrógeno en los efluentes. Se prevé que estas medidas, en conjunto con otras que garanticen prácticas de riego adecuadas, permitan disminuir las posibilidades de afectación a acuíferos.

Fósforo

El fósforo es otro macronutriente que se encuentra en los efluentes cloacales e industriales como polifosfatos, ortofosfatos o fósforo orgánico (Crites, 2014, Cap 3). En general el fósforo en el suelo se encuentra en formas no disponibles para la absorción de las plantas por lo que la aplicación de efluentes beneficia la nutrición correcta de los cultivos reduciendo el uso de fertilizantes (OMS, 2006, Cap 8).

El fósforo se elimina principalmente por absorción de las plantas e inmovilización y precipitación química en el suelo. La extracción mediante la cosecha de biomasa representa una de las principales salidas de nutrientes del sistema y es la base para el diseño de láminas de aplicación máximas basadas en la concentración de fósforo. Los suelos tienen alta capacidad de absorción y almacenamiento de fósforo (Crites, 2014, Cap 3) lo cual depende principalmente de la textura, pH y la presencia de otros minerales.

Este componente no genera riesgos sanitarios pero es el principal responsable de la eutrofización de las aguas superficiales (Crites, 2014, Cap 3). Resulta necesario garantizar cargas que minimicen su lixiviación y a su vez reduzcan la necesidad de incorporar fertilizantes.

1.1.2. Macro y Micronutrientes

Los efluentes contienen todos los nutrientes que necesitan los cultivos para su desarrollo. Entre ellos está el potasio, magnesio, calcio, azufre y el resto de micronutrientes o oligoelementos esenciales.

Dependiendo del origen del efluente sus concentraciones pueden variar y en muchos casos exceder las necesidades de los cultivos causando fitotoxicidad (Crites, 2014, Cap 3). Esta sección agrupa aquellos elementos comunes en efluentes cloacales e industriales sobre los cuales se recomienda su monitoreo para evitar daños en las plantas sin que esto implique un riesgo sanitario (OMS, 2006, Anexo 2).

Potasio

El potasio es otro componente presente en los efluentes que generalmente no tiene efectos negativos sobre la salud o el ambiente debido a sus bajas concentraciones (Crites, 2014, Cap 3)(OMS, 2006, Cap8). Es un macronutriente esencial para el desarrollo de las plantas y necesario para maximizar la absorción de nitrógeno y fósforo, pero en general no se encuentra en las proporciones requeridas.

Por estas razones no se establecen límites para sus concentraciones máximas. Se recomiendan estudios del contenido de este elemento en efluentes y suelo para, de ser necesario, incorporarlo como fertilizante con el objetivo de garantizar altas tasas de crecimiento en cultivos.

Boro

El Boro es un micronutriente esencial para el crecimiento de las plantas pero resulta tóxico en bajas concentraciones para muchas de ellas. Este mineral suele estar presente en los efluentes cloacales a concentraciones más bajas que las máximas recomendadas por algunas agencias (US-EPA,

2012, Cap 6) pero en efluentes industriales el contenido puede ser mayor (Crites, 2014, Cap 3).

Si bien concentraciones elevadas de Boro no comprometen el funcionamiento de los sistemas de disposición final de efluentes, está puede influir en la selección de cultivos (Crites, 2014, Cap 3). Se recomienda por ello la adopción de los valores máximos propuestos por la US-EPA (2014, Cap 3) y la OMS (2006, Anexo II) para evitar restricciones en cultivos.

1.1.3. Salinización e Iones Específicos

Los efluentes siempre poseen mas sales que el agua dulce utilizada para riego por lo que si no se realiza un manejo adecuado pueden afectar al suelo y a los cultivos. La salinidad es un parámetro que puede estimarse a través de varios indicadores entre los cuales se encuentra la Conductividad Eléctrica (EC), sólidos disueltos, la concentración de sodio, cloruro y el RAS.

Los efectos perjudiciales en el suelo se deben al aumento de la salinidad que si no se controla puede disminuir la productividad a largo plazo (OMS, 2006, Cap 8). El crecimiento y productividad de las plantas se ve afectado con el incremento de sales en el suelo y puede restringir algunos cultivos poco tolerantes. La calidad del agua subterránea también puede disminuir por el incremento de su contenido salino cuando estos sistemas no se manejan correctamente (Crites, 2014, Cap 3)(US-EPA, 2012, Cap 3).

La acumulación de sales en el perfil de suelo depende de la concentración en el agua de riego y las láminas aplicadas y lixiviadas (US-EPA, 2012, Cap 3). Evitar estas afectaciones comprende entonces tomar una serie de medidas que en conjunto pretenden disminuir el riesgo de afectación.

En primer lugar establecer límites sobre la EC máxima en el efluente para riego. Se propone para ello un valor límite de 3000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ que es el recomendado por la FAO (Ayers y Wescot, 1985) y abarca restricciones de uso leves a moderadas. Recomiendan también este valor para dicho nivel de restricciones la OMS (2006, Cap 8), US-EPA (2012, Cap 3) y Crites (2014, Cap 8).

La restricción de uso implica que puede haber limitaciones en la elección de cultivos y la necesidad de prácticas específicas. Por esta razón estos límites deben ir acompañados de prácticas de manejo y monitoreo adecuadas que eviten la afectación del suelo, cultivos y acuíferos. Por un lado implica diseñar sistemas de riego que contemplen láminas de lavado adecuadas a la EC del agua de riego, la EC del suelo y la EC tolerada por los cultivos. Por otro lado implica el monitoreo permanente del suelo y el agua freática para controlar su calidad y, en caso necesario, tomar las medidas necesarias para evitar afectar estos recursos.

Otro aspecto a considerar es el efecto que puede producir el sodio en el suelo. Cuando se encuentra en altas concentraciones respecto al calcio y magnesio puede afectar su estructura disminuyendo la infiltración (Crites, 2014, Cap 8). El parámetro que determina esta proporción es la Relación de Adsorción de Sodio (RAS).

El impacto potencial del RAS sobre las propiedades del suelo depende del contenido de arcilla y la EC del agua de riego. Siguiendo las recomendaciones de FAO (Ayers y Wescot, 1985) para las buenas practicas de riego se proponen límites máximos al RAS en función de la conductividad del agua de riego.

1.1.4. Materia Orgánica

Los efluentes contienen una variedad de sustancias orgánicas biodegradables entre las cuales se encuentran desechos humanos y animales, grasas y aceites, restos vegetales, etc. La composición varía según sean de origen cloacal o industrial.

Para caracterizar el contenido de materia orgánica biodegradable en los efluentes se utiliza el DBO_5 y el DQO. Ambos parámetros evalúan el oxígeno necesario para degradar la materia orgánica.

La aplicación de cargas orgánicas elevadas puede generar problemas asociados principalmente a la demanda de oxígeno generada en el perfil de suelo. Esta demanda provoca condiciones de anaerobiosis y generación de malos olores, aparición de ambientes reducidos, aumentos de la dureza y alcalinidad en el percolado debido a la disolución del dióxido de carbono (Crites, 2014, Cap 3)(US-EPA, 2012, Cap 6).

Estos sistemas sin embargo tienen una gran capacidad para degradar la materia orgánica. En el sistema suelo - planta los compuestos son degradados mediante filtración, absorción y oxidación bacteriana reportándose remociones mayores al 95 % (US-EPA 2006, Cap 8)(WEF, 1990, Cap 8). En el percolado pueden encontrarse algunas sustancias pero en general se corresponden con ácidos húmicos y fúlvicos en bajas concentraciones (OMS, 2006, Cap8).

La aplicación en cantidades y condiciones adecuadas beneficia al suelo ya que aumenta su contenido húmico, su capacidad de retención de agua, la retención de metales y mejora la actividad microbiana (OMS, 2006, Cap 8). Para que el uso de efluentes mejore las propiedades del suelo mediante la incorporación de materia orgánica es indispensable mantener aeróbico el perfil de suelo para que ocurra la degradación biológica (US-EPA, 2006, Cap 8). Esta condición esta asociada a la carga orgánica, la carga hidráulica y el tiempo de secado o restauración de las condiciones aeróbicas (Crites, 2014, Cap 8).

Debido a que el mecanismo es biológico, siempre que se restauren las condiciones aeróbicas el proceso es continuamente renovable. Bajo estas condiciones estos sistemas son capaces de tratar grandes cargas orgánicas sin impacto al medio ambiente mencionándose como cargas típicas valores entre 45 - 500 Kg DBO/Ha/Día (Crites, 2014, Cap 3)(US-EPA, 2006, Cap 2).

En función de estas características se propone regular la carga orgánica aplicada estableciendo un límite máximo de 50 Kg DBO/Ha*día. Este valor pretende ser conservador y se justifica en los propósitos de esta normativa, no existiendo información a nivel local de los efectos que pudiese tener la aplicación de cargas mas elevadas.

Se mencionan concentraciones medias para los efluentes cloacales entre 110 - 400 mg DBO/l (OMS, 2006, Cap 8). Para las láminas hidráulicas aplicadas normalmente en la región según requerimientos hídricos, estas concentraciones generarían cargas orgánicas por debajo de la máxima propuesta. Para efluentes industriales las concentraciones de diseño deberán ajustarse a esta propuesta.

Algunos aspectos a considerar para garantizar el tratamiento de la materia orgánica en el suelo es la distribución de los efluentes en los cuadros de riego y sus tiempos de secado. Se debe garantizar una distribución homogénea para evitar cargas elevadas en los cabezales de riego las cuales podrían generar condiciones de anaerobiosis y malos olores (Crites, 2014, Cap 3). Los tiempos de secado entre cada aplicación son particularmente importantes en riegos por gravedad en donde se satura el perfil del suelo.

1.1.5. Sólidos Suspendidos

El tratamiento de los sólidos suspendidos no suelen ser un problema en los sistemas por infiltración lenta y son removidos muy eficientemente en la capa superior del suelo (WEF, 1990) por lo que las concentraciones en el percolado suelen ser menores a 1 mg/l (US-EPA, 2006, Cap 2).

La mayor problemática esta asociada a concentraciones elevadas que pueden obstruir la infraestructura de riego y restringir la infiltración del suelo cuando están compuestos por materiales no degradables (OMS, 2006, Cap 8). Se recomienda por ello que las concentraciones máximas de sólidos suspendidos totales no superen los 100 mg/l.

1.1.6. pH

El objetivo de regular el pH en los efluentes utilizados para riego es mantener el equilibrio ácido - base del suelo. Se requiere mantener rangos adecuados que permitan la disponibilidad de nutrientes y el crecimiento óptimo de las plantas. El pH también regula la movilidad de metales pesados y otros contaminantes (OMS, 2006, Cap 8) por lo cual debe

mantenerse en rangos que eviten su solubilización y con esto su absorción o lixiviación.

Se recomienda utilizar efluentes en un rango de pH de 6,5 - 8,4 según propone US-EPA (2012, Cap 3) para garantizar estas condiciones.

1.1.7. Microorganismos

Componentes y Riesgos

Las aguas residuales poseen una concentración elevada de microorganismos de distintos orígenes. Se pueden clasificar en bacterias, virus, protozoos y helmintos (OMS, 1990) y debido a que el origen de los efluentes es variable, es esperable también variaciones en el contenido y concentración de estos (US-EPA, 2012, Cap 6).

El principal problema asociado al reúso de efluentes para riego es la presencia de patógenos que ponen en riesgo la salud de trabajadores y consumidores (OMS, 2006). El mayor origen de patógenos humanos son las heces de personas enfermas o asintomáticas (US-EPA, 2012, Cap 6) ya que la mayoría de estos microorganismos habitan el tracto intestinal.

La sola presencia de patógenos no implica un riesgo real por si mismo. Para que exista un riesgo real en una persona de contraer una enfermedad asociada a estos microorganismos deben darse una serie de factores entre los que se encuentran (OMS, 1990, Cap 4):

- Concentración suficiente del patógeno para que represente una dosis infectante
- Llegada de esa dosis a un huésped humano
- Infección del huésped
- Que esta infección cause enfermedad

Este aspecto es muy importante en el diseño y operación en estos sistemas de reúso y es la base de la estrategia de gestión de riesgos planteada en este informe. El objetivo no es lograr sistemas con riesgo nulo sino evaluar los riesgos potenciales y tomar medidas que permitan disminuirlos a niveles que no causen enfermedad en personas. Las características de este enfoque se detallan en la sección 1.10. Manejo del Riesgo Sanitario.

Eficiencia de Tratamiento

Estos sistemas son muy eficientes en la remoción de microorganismos cuando se diseñan de forma correcta y permiten un correcto tratamiento de los efluentes en el suelo. La eliminación ocurre por una combinación de

factores entre filtración, desecación, adsorción, radiación y depredación (Crites, 2014, Cap 3).

El tratamiento se da principalmente en las capas superiores del suelo. Las bacterias son eliminadas principalmente por filtración y absorción lográndose remociones mayores al 99,9 % (WEF, 1990). Debido a su mayor tamaño los helmintos y protozoos se eliminan por filtración en la superficie del suelo (OMS, 2006, 3). La eliminación de virus se logra por adsorción y posterior degradación (WEF, 1990), sin embargo al ser muy pequeños pueden desplazarse por distancias largas en el suelo por lo que se recomienda instalar estos sistemas lejos de cursos de agua superficiales.

Se menciona que la afectación de aguas subterráneas debida a microorganismos presentes en los efluentes es poco probable por la alta eficiencia en su tratamiento en las primeras capas de suelo (Crites, 2014, Cap 3). Se resalta la importancia de diseñar los sistemas de forma tal que garanticen que la totalidad del agua aplicada infiltre el suelo (WEF, 1990).

Indicadores

Debido a la variedad de microorganismos patógenos presentes en los efluentes no es práctico realizar un monitoreo sobre cada uno de ellos. Por este motivo se utilizan organismos que hacen de indicadores de la eficiencia del sistema de tratamiento en la eliminación de patógenos fecales (US-EPA, 2012, Cap 4). Se considera que la concentración de estos microorganismos indicadores mantiene una relación semicuantitativa con la concentración de los patógenos (OMS, 1990, Cap 4).

Para el monitoreo de patógenos se propone la utilización de la concentración de *Escherichia Coli* cada 100ml de efluente ya que es el parámetro mas ampliamente utilizado y el propuesto en las directrices de la OMS (2006, Cap 3) para uso de aguas residuales en agricultura. Siguiendo con estas directrices, se propone el monitoreo de protozoos y helmintos mediante el recuento de huevos de helmintos por litro de efluente.

Estándares de calidad

La definición de estándares de calidad para los efluentes utilizados para riego se enmarca en una estrategia de gestión de riesgos (OMS, 2006) que se acompaña de otros aspectos referidos al diseño y manejo a fin de minimizar los riesgos de su utilización.

En la definición de estos estándares se tuvieron en cuenta los propuestos por la OMS (2006, Cap 3 y 4) para riego restringido e intensivo en labores. Los límites propuestos no protegen a los niños menores de 15 años de infecciones por parásitos cuando estos se encuentran expuestos al contacto

con efluentes. Se resalta la importancia de establecer límites a las áreas de riego y restringir el ingreso solo al personal de trabajo.

1.1.8. Metales Pesados y Elementos Traza

Los efluentes pueden contener una gama de sustancias que pueden generar fitotoxicidad en cultivos y riesgos sanitarios cuando están en concentraciones elevadas. Entre estas sustancias hay algunos micronutrientes u oligoelementos y metales pesados.

Si bien estos componentes pueden encontrarse en todos los efluentes, su presencia en altas concentraciones esta asociada a aquellos de origen industrial y comercial (Crites, 2014, Cap 3)(OMS, 2006, Cap 8). Por este motivo su evaluación y monitoreo se propone se realicen sobre este tipo de establecimientos.

La principal preocupación con estos componentes es el riesgo de ingreso a la cadena alimentaria o al suministro de agua, fenómeno asociado a problemas de salud en consumidores (OMS, 2006, Cap 8). Los elementos con mayor peligrosidad son el cobre, níquel, plomo, zinc y cadmio debido a su toxicidad y movilidad potencial.

La fitotoxicidad reduce el crecimiento y por ende afecta la eficiencia del sistema de tratamiento. Los cultivos muestran síntomas de toxicidad por zinc, cobre y níquel antes de poseer concentraciones en los tejidos que puedan representar un riesgo a la salud (Crites, 2014, Cap 3). Si bien esto no ocurre para todas las sustancias tóxicas, evitar la aparición de síntomas ayuda a disminuir el riesgo sanitario.

La eliminación de metales en estos sistemas de disposición final ocurre por absorción por parte de los cultivos y por inmovilización en el suelo (Crites, 2014, Cap 3). El suelo tiene una gran capacidad para adsorber metales pesados, los cuales quedan retenidos en las capas superiores unidas a la fracción orgánica o precipitados debido al pH (OMS, 2006, Cap 8). La acumulación de estos metales en el suelo ocurre principalmente como formas inmóviles no disponibles para la vegetación, por lo que las plantas se ven afectas solamente por aquellos metales aplicados en la estación de crecimiento (Crites, 2014, Cap 3)(OMS, 2006, Cap 8).

Este fenómeno es importante ya que determina el manejo de efluentes con altas concentraciones de metales. Para evitar la aparición de problemas en las plantas deben aplicarse aguas que no sobrepasen las concentraciones que causan fitotoxicidad en los cultivos.

Se propone para ello utilizar las pautas establecidas por la US-EPA (2012, Cap 3) y la OMS (2006, Anexo 2) sobre concentraciones máximas admisibles según umbrales de tolerancia de cultivos. La importancia de estas pautas radica también en que fueron establecidas "para uso continuo a largo plazo

en todo tipo de suelos” (US-EPA, 2012, pag 3-9) lo que supone que aplicar efluentes con esta calidad durante muchos años no implica superar concentraciones en el suelo que generen riesgos a la salud. Se recomienda ver OMS (2006, Cap 4) para conocer las concentraciones máximas recomendadas para metales pesados y oligoelementos en el suelo.

La acumulación como formas inmóviles en el suelo depende principalmente del pH y la materia orgánica. Cuando el pH disminuye a valores inferiores de 6,5 y/o ocurre degradación de materia orgánica los metales se movilizan y puede ocurrir la absorción por los cultivos o la lixiviación de algunos de ellos (OMS, 2006, Cap 4). Es importante mantener condiciones de pH adecuadas en el suelo y propender a manejar los sistemas apuntando a la acumulación de materia orgánica.

1.1.9. Contaminantes Orgánicos

Los efluentes pueden contener una gran variedad de compuestos orgánicos tóxicos. Generalmente las aguas residuales de origen cloacal no poseen concentraciones significativas de estos componentes (OMS, 2006, Cap 8) pero las concentraciones pueden aumentar en efluentes industriales o agrícolas.

Entre los componentes que pueden aparecer hay agroquímicos, compuestos industriales, derivados del petróleo, residuos farmacológicos, etc. Existe una gran cantidad de productos por lo cual es difícil poder caracterizarlos a todos, inclusive se menciona que algunos son difíciles de detectar debido a la falta de técnicas analíticas adecuadas (OMS, 2006, Cap 8).

Muchos de estos elementos pueden ser perjudiciales para personas ya que esta comprobados sus efectos cancerígenos y mutagénicos (OMS, 2006, Cap 8). Estos componentes generan impactos ambientales negativos cuando por fallas o errores en estos sistemas llegan a corrientes superficiales (US-EPA, 2012, Cap 6).

La eficiencia en el tratamiento de estos componentes en el suelo es variable y depende de su estructura y naturaleza química. Algunos de ellos son total o parcialmente resistentes a la degradación biológica por lo que pueden persistir en el ambiente durante largos periodos de tiempo (Crites, 2014, Cap 3). Existen otros compuestos que se eliminan del perfil de suelo por biodegradación biológica, por adsorción por parte de la materia orgánica o por volatilización (OMS, 2006, Cap 8)(WEF, 1990). La absorción por las plantas es poco probable debido al alto peso molecular y su estado de inmovilización en el suelo.

Independientemente de la factibilidad de su degradación, estos sistemas son eficaces en la remoción de compuestos. Se estudio su eficiencia mediante la caracterización del agua percolada y se encontraron

remociones mayores al 99 % para muchos de los componentes estudiados (Crites, 2014, Cap 3)(US-EPA, 2006, Cap 2)(WEF, 1990).

Por la gran diversidad de componentes que agrupa esta categoría resulta difícil establecer listados específicos que permitan su control. Se prevé que en función de la naturaleza de los establecimientos las autoridades correspondientes exijan análisis en efluentes, suelo y aguas freáticas de determinadas sustancias que pudiesen encontrarse en ellos.

Estas medidas deberían ser tomadas específicamente para establecimientos del **Grupo B** (ver mas adelante) los cuales poseen efluentes de origen industrial. Se hace especial mención a la necesidad de exigir estudios sobre presencia de plaguicidas a aquellos establecimientos vinculados a la actividad agropecuaria.

1.2. Estándares de Calidad Propuestos

Uno de los objetivos propuestos en el presente trabajo es la fijación de estándares de calidad de aguas residuales para su uso en irrigación. El establecimiento de concentraciones máximas responde a que estos sistemas, independientemente de su utilización, pueden generar impactos negativos sobre el ambiente y la salud de las personas que lo operan y aprovechan.

Los estándares propuestos sobre parámetros microbiológicos y contaminantes químicos tienen el objetivo de minimizar el riesgo sanitario sobre trabajadores, sus familias, comunidades cercanas y posibles consumidores. Debe tenerse en cuenta que estos límites son parte de una estrategia de gestión de riesgos (OMS, 2006) que incluye la restricción de cultivos y su aprovechamiento, restricciones sobre los sistemas de riego, establecimiento de normas de trabajo y equipos obligatorios de protección personal, señalización del área irrigada y otros aspectos que serán abordados más adelante.

Si bien estos sistemas pueden ocasionar impactos ambientales negativos, cuando se planifican y gestionan de manera adecuada pueden ejercer efectos positivos e incrementar los rendimientos agrícolas. Para maximizar los efectos positivos se propone la fijación de estándares de calidad en el agua a irrigar que, en conjunto con una correcta planificación productiva, riego eficiente, aprovechamiento y monitoreo permita la sostenibilidad a largo plazo.

Los estándares aquí propuestos son aplicables solamente para sistemas que cumplan con las condiciones de diseño propuestas para esta normativa. Su utilización bajo otras condiciones puede significar un riesgo sanitario y ambiental para los trabajadores y comunidades cercanas.

Parámetros	Límites Máximos	Observaciones	Frecuencia de Monitoreo
Parámetros Físicoquímicos y Orgánicos			
pH	6,5 - 8,4		Mensual
Conductividad Eléctrica (µS/cm)	3000		Mensual
RAS (%)	3	Para EC < 700	Trimestral
RAS (%)	6	Para EC 700 - 1200	Trimestral
RAS (%)	12	Para EC > 1200	Trimestral
Sólidos Suspendidos Totales (mg/l)	100		Trimestral
DBO5 (Kg /Ha día)	50		Trimestral
Nutrientes			
N total (mg/l)	-	Parámetro de Diseño	Mensual
P total (mg/l)	-	Parámetro de Diseño	Mensual
K (mg/l)	-	No establece	Semestral
Boro (mg/l)	1,0		Anual
Parámetros Microbiológicos			
<i>Escherichia coli</i> (NMP/100 ml)	10 ⁴		Trimestral
Helminetos (huevos/l)	≤1		Trimestral
Metales Pesados y Micronutrientes			
Aluminio (Al)	5,0	Grupo B	Anual
Arsénico (As)	0,10	Grupo B	Anual
Berilio (Be)	0,10	Grupo B	Anual
Cadmio (Cd)	0,01	Grupo B	Anual
Cobalto (Co)	0,05	Grupo B	Anual
Cromo (Cr)	0,10	Grupo B	Anual
Cobre (Cu)	0,20	Grupo B	Anual
Fluor (F)	1,0	Grupo B	Anual
Hierro (Fe)	5,0	Grupo B	Anual
Litio (Li)	2,5	Grupo B	Anual
Manganeso (Mn)	0,20	Grupo B	Anual

Molibdeno (Mo)	0,01	Grupo B	Anual
Níquel (Ni)	0,20	Grupo B	Anual
Plomo (Pd)	5,0	Grupo B	Anual
Selenio (Se)	0,02	Grupo B	Anual
Vanadio (V)	0,10	Grupo B	Anual
Zinc (Zn)	2,0	Grupo B	Anual

Tabla 1.1: Estándares de Calidad de Efluentes para Riego

1.3. Cultivos Permitidos y Objetivos Productivos

Se propone que la irrigación se permita solamente en una serie de cultivos determinados por esta normativa. La restricción de los cultivos permitidos se fundamenta en varios aspectos entre los que se encuentran:

- El objetivo principal propuesto en el diseño de estos sistemas es dar tratamiento final a los efluentes generados en establecimientos sin conexión cloacal para evitar el vertido y contaminación de acuíferos. Se propone la utilización de cultivos de alta productividad y adaptados a las condiciones regionales. Se priorizan los cultivos con altas tasas de crecimiento y extracción de nutrientes que minimicen la superficie necesaria para dar tratamiento.
- A nivel regional no hay ensayos suficientes que demuestren el uso seguro de efluentes para el riego de cultivos de consumo humano, no existe tampoco una estructura adecuada que permita el control y fiscalización de los mismos. Por esta razón se propone la autorización de riegos sobre cultivos no consumidos por humanos. Si bien este aspecto plantea una limitación al aprovechamiento de las aguas residuales, se considera que la implementación de esta normativa genera experiencia regional para poder normar y autorizar a futuro una gama más amplia de cultivos.
- Parte de la estrategia de gestión de riesgos sanitarios es restringir los cultivos a irrigar, y va acompañada por otras medidas entre las cuales se encuentra el establecimiento de estándares de calidad para el uso de aguas residuales. Los cultivos permitidos y los estándares de calidad propuestos son interdependientes entre sí y forman parte de la estrategia general de gestión de riesgos sanitarios (OMS, 2006). La propuesta de utilizar cultivos no consumidos por humanos permite la flexibilización de los estándares y se espera facilite su adopción.

En función de los aspectos antes mencionados y a partir de una clasificación realizada por la OMS (2006) para cultivos en donde es necesaria la protección solamente para los trabajadores del campo, se proponen los siguientes:

- I. Cultivos silvícolas en zonas cerradas sin acceso publico
- II. Cultivos forrajeros secados al sol y recolectados antes de ser consumidos por los animales

Quedaría prohibido entonces la irrigación de cultivos de consumo humano y el pastoreo directo de animales sobre los cultivos forrajeros.

Cada proyectista deberá tener en cuenta a la hora de elegir los cultivos a utilizar que el objetivo principal del sistema es dar tratamiento y destino final a los efluentes generados en el establecimiento por el periodo de tiempo durante el cual opere. Esto significa que, además de seleccionar cultivos en función de los intereses particulares de cada establecimiento, también deberá:

- Favorecer la implantación de cultivos con altas tasas de crecimiento y absorción de nutrientes.
- Garantizar el crecimiento óptimo de los mismos a partir de un plan de manejo adaptado a la región.
- Si no puede garantizar la continuidad en cultivos intensivos en mano de obra y/o recursos debe priorizar aquellos de menor demanda.
- Garantizar y planificar la cosecha y destino final de la biomasa generada como parte fundamental del sistema de disposición final de efluentes.

Para reducir el riesgo sanitario en el aprovechamiento de los cultivos debe dejarse un tiempo prudencial entre el último riego y la cosecha o corte. Se propone que este tiempo no sea menor a dos semanas según recomendaciones de la OMS (2006, Cap 5) y se enmarca en la estrategia general de gestión de riesgos.

1.4. Características del Balance de Nutrientes, Extracción y Absorción

Para determinar la Lámina Hidráulica Final de Diseño de los sistemas de tratamiento de efluentes se deben estudiar previamente las láminas hidráulicas parciales de diseño. Entre estas láminas parciales están la

Lámina Hidráulica de diseño basada en la Carga de Nitrógeno (L_N) y la Lámina Hidráulica de diseño basada en la Carga de Fósforo (L_P).

Para calcular las láminas anteriores se utilizan ecuaciones que están basadas en el balance de nutrientes en el suelo. En esta sección se hace hincapié en la importancia de establecer balances de nutrientes para evitar la contaminación de acuíferos y favorecer el funcionamiento del sistema, además se describe el desarrollo de las ecuaciones para cada uno de los parámetros y las cuestiones a considerar y tener en cuenta.

1.4.1. Importancia del Balance de Nutrientes

Los sistemas presentados deben diseñarse, operarse y monitorearse para que las aguas ya tratadas que salgan del sistema sean de la mayor calidad posible y minimicen el impacto ambiental sobre los sistemas naturales que los rodean.

En este marco uno de los objetivos principales aquí propuestos es el aprovechamiento de los nutrientes contenidos en las aguas residuales para evitar su salida causando eutrofización. Para que dicho aprovechamiento ocurra la aplicación de los nutrientes debe hacerse de forma adecuada minimizando las pérdidas por lixiviación y maximizando la absorción de las plantas.

Una nutrición mineral equilibrada asegura un crecimiento óptimo de la planta. Una aplicación excesiva de nutrientes trae problemas al crecimiento que se manifiestan, por ejemplo para el nitrógeno, en exceso de follaje y rendimiento pobre en frutos, desarrollo radicular mínimo, retardo de floración y mayor susceptibilidad a plagas (Azcón-Bieto & Talón, 2000). El mismo autor menciona como problemas del exceso de fósforo una baja proporción parte área - raíz, reducción del rendimiento y susceptibilidad a plagas.

Las fertilizaciones superiores a los requerimientos de los cultivos aumentan las pérdidas por lixiviación y la presencia en el suelo de nutrientes (Castellanos et al., 2007). El nitrógeno incorporado no utilizado por el cultivo se perderá a la atmósfera o será lixiviado principalmente como nitrato (WEF, 1990), además a medida que la tasa de aplicación aumenta por encima de la capacidad del cultivo para usar nitrógeno, aumenta la proporción lixiviada (Bouwer & Idelovitch, 1987). El exceso de fósforo en el suelo reduce la disponibilidad de micronutrientes y aumenta la precipitación del calcio (Bouwer & Idelovitch, 1987), además puede llegar a lixivarse principalmente en suelos arenosos. Las precipitaciones intensas en condiciones de alta concentración de nutrientes en el suelo los arrastran por percolación profunda afectando los acuíferos (Alvarez, 2006).

La eficacia de estos sistemas en la remoción de los nutrientes fue comprobada en numerosas situaciones. En WEF (1990) se mencionan varios

sistemas que consiguen remociones de nitrógeno del 67 al 94% y remociones de fósforo también muy elevadas. A nivel regional estudios realizados en la Provincia de Mendoza sobre áreas productivas bajo riego con efluentes evaluaron la efectividad de los sistemas a partir de medir la concentración de nutrientes en el agua freática y encontraron remociones entre el 71 y 87% para el nitrógeno y del 57 al 99% para el fósforo (Álvarez et al., 2008).

De lo anterior se comprende la importancia de diseñar los sistemas correctamente para aumentar la remoción de nutrientes y minimizar la contaminación de los acuíferos. Se propone para ello la siguiente metodología la cual determina láminas máximas de aplicación según concentración y carga de efluentes, absorción de cultivos y pérdidas tolerables por lixiviación. Estos sistemas deben acompañarse de monitoreo constante del acuífero freático para comprobar su funcionamiento y corregir en caso necesario.

1.4.2. Balance de Nitrógeno

El desarrollo de la ecuación para determinar la L_N está basado en el balance de nitrógeno del sistema suelo - planta. En estos sistemas la entrada principal del nutriente se debe al riego con aguas provenientes de los sistemas de tratamiento de efluentes las cuales suelen contener concentraciones elevadas tanto de nitrógeno como de otros minerales. La salida se da mediante una combinación que incluye la extracción de los cultivos, la desnitrificación y volatilización del amoníaco y las pérdidas por lixiviación (WEF, 1990).

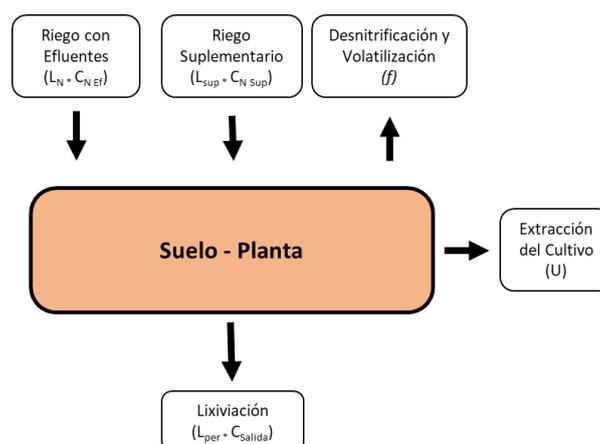


Figura 1.1: Balance de Nitrógeno

Realizando un balance para un periodo prolongado de tiempo debe desprejarse el nitrógeno que puede acumularse en el suelo debido a que

con el paso de los años este va a tender a estabilizarse. Para el resto de los componentes de entrada y salida a continuación se detallan sus características y formas de cálculo para un periodo de tiempo mensual.

Riego con Efluentes

Constituye la principal entrada de nitrógeno al sistema debido a la alta carga de nutrientes que suelen contener principalmente los efluentes cloacales pero también industriales. Para la estimación de la carga de nitrógeno mensual que ingresa al sistema puede utilizarse la siguiente ecuación (1.1):

$$(1.1) \quad Carga_N \left(\frac{mg}{m^2 \text{ mes}} \right) = L_N \left(\frac{mm}{mes} \right) * C_{N \text{ Ef}} \left(\frac{mg}{l} \right)$$

En donde la $Carga_{N \text{ Ef}}$ representa la masa de nitrógeno incorporada por unidad de superficie, la L_N es la lámina Hidráulica basada en la Carga de Nitrógeno que se incorporara mediante el riego con efluentes, y la $C_{N \text{ Ef}}$ es la concentración de nitrógeno total en el efluente.

Riego Suplementario

Puede necesitarse un riego suplementario con agua externa cuando la lámina hidráulica de diseño sea menor a los requerimientos de riego. En este caso también puede estimarse la carga de nutrientes incorporada mediante la siguiente ecuación (1.2):

$$(1.2) \quad Carga_{Sp} \left(\frac{mg}{m^2 \text{ mes}} \right) = L_{Sp} \left(\frac{mm}{mes} \right) * C_{N \text{ Sp}} \left(\frac{mg}{l} \right)$$

La $Carga_{N \text{ Sp}}$ representa la masa de nitrógeno incorporada por unidad de superficie, la L_{Sp} es la lámina suplementaria incorporada para cubrir los requerimientos de riego y la $C_{N \text{ Sp}}$ es la concentración de nitrógeno total en el agua suplementaria.

Debido a que el agua para riego suplementario debe ser de fuentes externas al establecimiento y de buena calidad puede despreciarse el aporte a la carga de nitrógeno total ya que la concentración de nutrientes que puede contener es mínima. Solo deberá tenerse en cuenta en el balance de nutrientes cuando la concentración de nutrientes sea significativa.

Desnitrificación y Volatilización

La desnitrificación es el proceso por el cual el nitrógeno de los nitratos es reducido a nitrógeno molecular u óxidos de nitrógeno, que se emiten del suelo a la atmósfera (Alvarez, 2006). La magnitud de este proceso depende

de la relación DBO:N y C:N en los efluentes, la temperatura del suelo, el pH, la humedad, la intermitencia entre riegos, etc. pudiendo llegar a ocupar más del 80% del nitrógeno incorporado con relaciones DBO:N superiores a 30 (WEF, 1990). Varios autores proponen valores normales en estos sistemas que oscilan entre el 15-25% del nitrógeno incorporado (Bouwer & Idelovitch, 1987)(Crites, 2014).

La volatilización es el proceso por el cual el amonio en el suelo o efluente pasa a amoníaco gaseoso, proceso que aumenta a pH superiores a 7,8. La magnitud de este proceso puede llegar al 10% aunque en ocasiones puede ser nulo.

Para estimar las pérdidas por desnitrificación y volatilización que ocurren en el sistema puede utilizarse la siguiente ecuación (1.3):

$$(1.3) \quad P_{DyV} \left(\frac{mg}{m^2 mes} \right) = Carga_N \left(\frac{mg}{m^2 mes} \right) * f$$

En donde las pérdidas por desnitrificación y volatilización (P_{DyV}) pueden calcularse por el producto de la carga de nitrógeno ($Carga_N$) por la fracción de este que se pierde por desnitrificación y volatilización (f). Se propone se utilice como valor guía de este último parámetro un rango comprendido entre el 15-25% en función de las características de cada sitio y criterio del profesional que realiza el diseño. Se aclara que en la $Carga_N$ no se tiene en cuenta el incorporado con el riego suplementario ya que se considera despreciable.

Extracción del Cultivo (U)

La salida de nutrientes en los sistemas ocurre en el momento de la cosecha o aprovechamiento del material implantado, exportando en ese momento la biomasa que los contiene fuera del sistema de tratamiento para darle un uso posterior. De aquí la importancia en la elección de las especies a implantar ya que su aprovechamiento será la principal salida de nutrientes del sistema.

Deben diferenciarse en primer lugar dos conceptos que se utilizan en esta sección. Se define como absorción del cultivo a todos los nutrientes que incorpora la planta desde el suelo durante su ciclo de vida para formar biomasa permanente o no permanente. La extracción queda definida como la masa de nutrientes que sale del sistema cuando se aprovechan los cultivos, siendo este valor el utilizado en el balance de nutrientes a lo largo del tiempo en el sistema suelo - planta.

A partir de la cosecha probable y su composición nutricional, pueden calcularse las Extracciones del Cultivo (U) en $Kg.Ha^{-1}$ anuales de los

principales nutrientes. Este es un método a utilizar en el caso de que se cuenten con rendimientos esperados para esa zona y bajo esas condiciones.

Otra forma de estimar la extracción es a partir de bibliografía específica sobre el tema. En general en la bibliografía se cuenta con información sobre la absorción de nutrientes para diferentes cultivos y en diferentes condiciones. Puede estimarse la extracción a partir de estos datos pero teniendo en cuenta la proporción de la biomasa a cosechar. Para el caso de leguminosas debe tenerse en cuenta que por simbiosis pueden fijar la mayor parte del nitrógeno que absorben.

Algunos materiales bibliográficos donde obtener absorción y extracción estimada de nutrientes son (Bouwer & Idelovitch, 1987)(WEF, 1990)(Caries, 2014, Cap 8). Se recomienda consultar con asesores regionales.

Otro aspecto a tener en cuenta en la extracción y absorción de nutrientes está referido a su distribución durante el ciclo de cultivo anual. Es importante en este método determinar la absorción mensual de los nutrientes para poder determinar las $L_{N\text{ Ef}}$ utilizadas en el diseño. Para ello en el caso de que exista bibliografía específica sobre absorción mensual o estacional debe utilizarse.

Si no se cuenta con esa información puede estimarse la U_{Mensual} a partir de suponer que la U_{Anual} se distribuye mensualmente de acuerdo con el coeficiente $ETr_{\text{Mensual}} \cdot ETr_{\text{Total Anual}}$. Puede hacerse mediante la siguiente expresión (1.4):

$$(1.4) \quad U_i \left(\frac{\text{Kg}}{\text{Hames}} \right) = U_{\text{Anual}} \frac{\left(\frac{\text{Kg}}{\text{Ha año}} \right) * ETr_i \left(\frac{\text{mm}}{\text{mes}} \right)}{ETr_{\text{Anual}} \left(\frac{\text{mm}}{\text{año}} \right)}$$

En donde la extracción mensual de nutrientes para el mes i (U_i) es igual al producto entre la extracción anual (U_{Anual}) por el coeficiente entre la evapotranspiración real para el mes i (ETr_i) y la evapotranspiración real anual (ETr_{Anual}). Si bien está citado que la demanda de agua y la demanda de nitrógeno no son paralelas (Bouwer & Idelovitch, 1987) este método permite una aproximación para el diseño en el caso de que no se cuente con los datos necesarios.

Lixiviación

La lixiviación es la pérdida de nutrientes en la solución del suelo que se mueven por gravedad por debajo de la profundidad de absorción de los cultivos y los límites del sistema (percolación profunda). Este proceso es el causante de la eutrofización de los acuíferos subsuperficiales cuando la magnitud de esta pérdida nutricional es elevada, por lo tanto es muy

importante conocer los parámetros que la determinan para realizar un diseño que tienda a minimizar el impacto ambiental.

La pérdida nutricional que sale del sistema depende tanto de la magnitud de la percolación profunda que mueve los nutrientes como de la concentración de los mismos en la solución de suelo. La magnitud de la percolación profunda en estos sistemas puede estudiarse a partir del balance hídrico del suelo, en donde para un almacenamiento nulo las entradas y salidas pueden expresarse como (1.5):

$$(1.5) \quad L_N \left(\frac{mm}{mes} \right) + L_{Sp} \left(\frac{mm}{mes} \right) + Pp \left(\frac{mm}{mes} \right) = ETr \left(\frac{mm}{mes} \right) + L_{Per} \left(\frac{mm}{mes} \right)$$

Las entradas son representadas por la lámina hidráulica para la carga de nitrógeno (L_N), la lámina suplementaria para cubrir las necesidades de riego (L_{Sp}) y las precipitaciones (Pp). Las salidas en tanto dependen de la evapotranspiración real del cultivo (ETr) y la lámina de percolación profunda (L_{Per}). Nótese que la sumatoria entre la L_N y la L_{Sp} representa las necesidades totales de riego o Necesidades Brutas (N_{Brutas}).

La pérdida de nutrientes por percolación profunda depende de la concentración de nutrientes y la magnitud en el agua de percolación profunda. Despejando la L_{Per} de la ecuación anterior puede llegarse a la siguiente expresión (1.6):

$$(1.6) \quad P_{Per} \left(\frac{mg}{m^2 mes} \right) = \left(N_{Brutas} \left(\frac{mm}{mes} \right) + Pp \left(\frac{mm}{mes} \right) - ETr \left(\frac{mm}{mes} \right) \right) * C_{N_{Per}} \left(\frac{mg}{l} \right)$$

En donde la pérdida de nutrientes por percolación profunda (P_{Per}) es igual al producto entre la concentración de nitrógeno del agua de percolación ($C_{N_{Per}}$) y las componentes de la lámina de percolación.

No existen normas que establezcan valores máximos para la $C_{N_{Per}}$ en estos sistemas recomendándose utilizar valores no mayores a 5 mg/l en el diseño para garantizar la preservación de los acuíferos subsuperficiales.

Lámina Hidráulica de Diseño

Descriptos todos los componentes que hacen al balance de nitrógeno en el sistema suelo - planta, se puede expresar ahora la ecuación que lo representa como (1.7):

$$(1.7) \quad Carga_N \left(\frac{mg}{m^2 mes} \right) = P_{DyV} \left(\frac{mg}{m^2 mes} \right) + P_{Per} \left(\frac{mg}{m^2 mes} \right) + U \left(\frac{Kg}{Hames} \right)$$

Incorporando los componentes de cada uno de los parámetros, y trabajando para despejar la L_N se llega a la siguiente expresión (1.8):

(1.8)

$$L_N \left(\frac{mm}{mes} \right) = \frac{\left(N_{Brutas} \left(\frac{mm}{mes} \right) + Pp \left(\frac{mm}{mes} \right) - ETr \left(\frac{mm}{mes} \right) \right) * C_{NPer} \left(\frac{mg}{l} \right) + U \left(\frac{Kg}{Ha mes} \right) * 100 \frac{mg Ha}{Kg m^2}}{C_{NEf} \left(\frac{mg}{l} \right) * (1 - f)}$$

Con esta última expresión es posible calcular la Lámina Hidráulica de Diseño basada en la Carga de Nitrógeno (L_N) a nivel mensual necesaria para calcular la Lámina Hidráulica Final de Diseño.

1.4.3. Balance de Fósforo

Al igual que en el balance de nitrógeno, el desarrollo de la ecuación para determinar la L_P está basado en el balance de fósforo del sistema suelo - planta. La entrada principal de nutrientes para este análisis proviene de los sistemas de tratamiento de efluentes. Las salidas principales consisten en la absorción de los cultivos y la lixiviación.

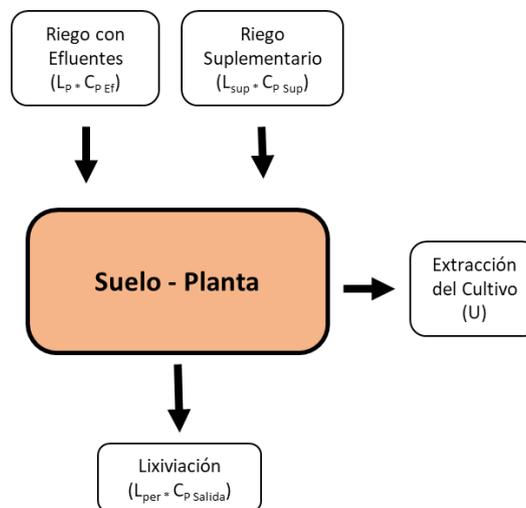


Figura 1.2: Balance de Fósforo

Para llegar a la ecuación de cálculo de la Lámina Hidráulica de Diseño basada en la Carga de Fósforo (L_P) se siguió el mismo procedimiento que el utilizado para la L_N pero con algunas particularidades derivadas del propio balance de fósforo y sus características.

Las diferencias principales radican en que las salidas del sistema se dan solamente por extracción de los cultivos y lixiviación. Existen salidas de

fósforo mediante la erosión hídrica y eólica, pero estas son pequeñas y no significativas (Vázquez, 2002).

Considerando que el balance de fósforo en el sistema debe ser nulo para el periodo de tiempo en que sea utilizado este sistema, a continuación se describen los componentes del balance para periodos mensuales. Se hace hincapié en las diferencias encontradas con el balance de nitrógeno.

Riego con Efluentes

Este nutriente ingresa al suelo y se encuentra bajo la forma de diferentes compuestos inorgánicos y orgánicos existiendo un equilibrio entre cada uno de ellos y variando desde una disolución disponible para las plantas hasta las formas no disponibles, que es la manera más común de encontrar el fósforo en el suelo (Salazar, 2005).

Puede calcularse mediante la siguiente ecuación (1.9):

$$(1.9) \quad \text{Carga}_{PEf} \left(\frac{mg}{m^2 \text{ mes}} \right) = L_P \left(\frac{mm}{mes} \right) * C_{PEf} \left(\frac{mg}{l} \right)$$

En donde la Carga_{PEf} representa la masa de fósforo incorporada por unidad de superficie, la L_P es la Lámina Hidráulica basada en la Carga de Fósforo que se incorporara mediante el riego con efluentes, y la C_{PEf} es la concentración de fósforo total en el efluente.

Riego Suplementario

Solo deberá considerarse en el caso de que la calidad del agua suplementaria sea baja y su utilización sea una fuente significativa de ingreso del nutriente al sistema. En ese caso puede utilizarse la ecuación utilizada en el balance de nitrógeno.

Extracción del Cultivo (U)

Se tienen en cuenta las mismas características que las utilizadas para el cálculo de la extracción de nitrógeno. También debe tenerse en cuenta que la absorción de fósforo por parte del cultivo no es lineal con respecto al consumo de agua, pero en caso de no contar con la información se recomienda distribuirla de acuerdo con el coeficiente $ETr_{Mensual} : ETr_{Total Anual}$.

Lixiviación

Varios autores mencionan que la escasa solubilidad de los compuestos fosforados presentes en el suelo inciden en la baja concentración del elemento en la solución del mismo y, por ende, en sus posibilidades de

lixiviación (Vazquez, 2002) (Salazar, 2005). El último autor sin embargo menciona que este nutriente puede acumularse en grandes cantidades en el suelo representando un riesgo futuro de contaminación.

En trabajos regionales (Alvarez, 2008) se encontró que la remoción de este nutriente en riegos con efluentes, si bien es elevada, no fue total. La presencia en el agua freática de fósforo proveniente de efluentes es un indicador de que deben tenerse en cuenta las pérdidas por lixiviación en el balance de nutrientes y cálculo de la L_p .

La expresión que permite cuantificar dichas pérdidas (1.10) es la misma utilizada para pérdidas de nitrógeno por lixiviación con la diferencia de que debe tenerse en cuenta la concentración de fósforo en el agua de percolación profunda.

$$(1.10) \quad P_{Per} \left(\frac{mg}{m^2 mes} \right) = \left(N_{Brutas} \left(\frac{mm}{mes} \right) + Pp \left(\frac{mm}{mes} \right) - ETr \left(\frac{mm}{mes} \right) \right) * C_{P Per} \left(\frac{mg}{l} \right)$$

En donde la pérdida de fósforo por percolación profunda (P_{Per}) es igual al producto entre la concentración de fósforo del agua de percolación ($C_{P Per}$) y las componentes de la lámina de percolación.

No existen normas que establezcan valores máximos para la $C_{P Per}$ en estos sistemas. Se recomienda utilizar valores no mayores a 0,5 mg/l en el diseño para garantizar la preservación de los acuíferos subsuperficiales.

Lámina Hidráulica de Diseño

Una vez establecido el balance de fósforo en el sistema suelo - planta y la descripción de sus componentes, despejando la Lámina Hidráulica de Diseño basada en la Carga de Fósforo (L_p) se llega a la siguiente ecuación (1.11):

$$(1.11) \quad L_p \left(\frac{mm}{mes} \right) = \frac{\left(N_{Brutas} \left(\frac{mm}{mes} \right) + Pp \left(\frac{mm}{mes} \right) - ETr \left(\frac{mm}{mes} \right) \right) * C_{P Per} \left(\frac{mg}{l} \right) + U \left(\frac{Kg}{Ha mes} \right) * 100 \frac{mg Ha}{Kg m^2}}{C_{PEf} \left(\frac{mg}{l} \right)}$$

Con esta última expresión deben calcularse las L_p mensuales necesarias en el diseño de los sistemas de tratamientos.

1.5. Métodos de Riego Permitidos

La elección del método de riego determina en gran parte la eficiencia de tratamiento en estos sistemas de disposición final. El diseño correcto y su operación influyen directamente sobre la cantidad de agua pérdida por percolación con el consecuente riesgo sobre los acuíferos subterráneos.

La aplicación de aguas residuales puede afectar el estado de salud de los trabajadores agrícolas, los consumidores y las comunidades cercanas. Si bien mediante un manejo correcto de los sistemas de riego se reducen los impactos ambientales y se optimiza el funcionamiento del sistema, por sus características cada uno de ellos tiene niveles de riesgo diferente y por lo tanto demandan distintas medidas de operación, monitoreo y control.

Se propone la autorización de los siguientes métodos de riego:

1. Riego por Gravedad

Estos métodos abarcan el riego por inundación, por melgas y surcos. No todas las variantes de los anteriores resultan adecuadas a los fines de esta reglamentación en donde se busca dar disposición final a las aguas residuales. Se propone por ello la autorización de aquellas que no utilicen desagües al pie de forma tal que se garantice la total infiltración del efluente en el perfil de suelo.

Los métodos de riego por gravedad son los que poseen menor eficiencia si no se operan de manera adecuada. Para evitar afectaciones a los acuíferos y al suelo se deberán monitorear con mayor frecuencia y rigurosidad.

Para minimizar el riesgo de erosión la pendiente máxima debe ser del 7% (Crites, 2010, Cap 8). Deberá optarse entre melgas y surcos en función de la conveniencia y los costos de nivelación.

Estos métodos son los que generan mayor riesgo sanitario sobre los trabajadores (OMS, 2006) debido al contacto directo con las aguas residuales. Resulta indispensable garantizar los equipos de protección personal adecuados.

Las variantes a permitir son:

- a) Melgas sin pendiente sin desagüe al pie
- b) Surcos a nivel sin desagüe al pie

2. Riego Localizado

Son aquellos sistemas en donde el agua es aplicada a presión sobre la zona de la tierra en donde se desarrollan las raíces (Pereira, 2010) e incluyen al riego por goteo y subsuperficial. Brindan una mayor posibilidad de control

sobre la superficie y la cantidad de agua a aplicar, mejorando la eficiencia y por ende disminuyendo el riesgo de contaminación del agua subterránea.

Estas técnicas además son las que ofrecen la mayor protección a los trabajadores (OMS, 2006) debido a que el agua tratada se aplica directamente sobre las plantas o el suelo minimizando la posibilidad de contacto.

El riego por goteo es propenso a las obstrucciones debido a los componentes presentes en los efluentes. Para evitar la disminución de caudal y uniformidad de riego, minimizar los costos de mantenimiento y lograr mayor confiabilidad en la operación es indispensable la utilización de filtros adecuados según las características particulares de cada establecimiento.

Si bien se menciona que la utilización de estos sistemas puede adaptarse a cualquier topografía y no tendría restricciones de uso (Pereira 2010 Cap 7) (Crites 2014 Cap 8), para minimizar cualquier riesgo de erosión e inestabilidad en el suelo se propone que la pendiente no supere el 15% en los sitios de emplazamiento (WEF, 1990, Cap 4).

Los métodos de riego localizados propuestos son:

- a) Goteo
- b) Subsuperficial

Los proyectistas deberán tener en cuenta a la hora de optar por un método de riego aspectos como la pendiente del sitio, el tipo de suelo, los caudales disponibles para riego, los costos de nivelación, los requerimientos de los cultivos, frecuencia de monitoreo, etc. que hagan a lograr sistemas con la mayor eficiencia en el uso del agua posible.

Se deberá siempre propender a los sistemas de riego localizado ya que son los que aportan mayor seguridad a los trabajadores, mayor posibilidad de control, mejor eficiencia y menor riesgo de impacto ambiental.

El riego por aspersión provoca un elevado riesgo sanitario a las comunidades por lo cual no se recomienda su autorización. Los contaminantes microbiológicos pueden transportarse por largas distancias mediante la deriva cuando son pulverizados con aspersores (OMS, 2004). Si bien pueden disminuirse los riesgos mediante zonas buffer adecuadas y otras medidas de control, para los fines de esta reglamentación no se recomienda su uso debido a las dificultades que podría entrañar su implementación y fiscalización.

1.6. Sistemas de Almacenamiento

1.6.1. Objetivos y Diseño

Debido a las condiciones climáticas de nuestra región es muy probable que exista un desbalance entre la generación de efluentes y su utilización. La generación de efluentes suele distribuirse de forma relativamente homogénea durante el año, su utilización para riego en cambio solo puede realizarse en aquellos periodos donde existe demanda evapotranspiratoria. Este hecho determina la necesidad de contar con sistemas de almacenamiento estacional que permitan la acumulación de los efluentes tratados para su utilización en la temporada de riego.

Estos sistemas son denominados depósitos de estabilización (Juanico, 1994) ya que ofrecen una etapa adicional de estabilización en el tratamiento de los efluentes. Dependiendo del periodo de almacenamiento, su diseño y las condiciones en las que operan logran mejorar la calidad de los efluentes mediante la reducción de la carga orgánica y nutricional. Juanico (1994, 1999) y Barbagallo (2003) citan reducciones respecto a las condiciones de entrada de efluentes para la DBO entre el 50-85%, entre el 40-80% para sólidos suspendidos totales y entre el 50-70% y 30-60% para nitrógeno total y fósforo respectivamente. En función del diseño estos sistemas son particularmente eficientes en la reducción de la carga microbiológica reportándose reducciones de 90-99,9% para bacterias, 90-99,9% para huevos de helmintos y 90-99,9% para virus (OMS, 2006).

Si bien ofrecen una etapa de tratamiento adicional, el objetivo principal de uso en función de esta normativa es el almacenamiento de efluentes para su posterior utilización y no el aumento de su calidad. No se requiere de un tratamiento adicional ya que los efluentes que ingresan al sistema ya cumplen con los requisitos para ser utilizados en riego, por lo tanto el factor de diseño principal es la capacidad de almacenamiento del reservorio basado en el balance hídrico del establecimiento.

Otro aspecto a tener en cuenta es la posible generación de malos olores. La degradación de la materia orgánica demanda grandes cantidades de oxígeno, efluentes con elevada carga orgánica generan entonces condiciones de anaerobiosis cerca de la superficie que se acompañan de la emisión de malos olores (Friedler, 2003). Para evitar este fenómeno Juanico (1994, 1999 Cap 5) propone límites a la carga orgánica respecto a la superficie del depósito de almacenamiento de entre 30 - 40 Kg DBO / Ha*día los cuales garantizarían que estos funcionaran de forma aeróbica o facultativa.

Por lo expuesto las condiciones de diseño que deben tenerse en cuenta son aquellas a garantizar el volumen a almacenar y a reducir/evitar la generación de malos olores.

1.6.2. Operación

El reservorio deberá operarse en función del balance entre la generación – utilización de efluentes del establecimiento. Normalmente comenzara el almacenamiento durante fines de verano y principios del otoño, prolongándose hasta que los requerimientos de riego superen la generación en primavera. En este momento deberán utilizarse los efluentes almacenados para cubrir los requerimientos de riego siempre que superen la generación de la planta de tratamientos.

Agotada su capacidad de almacenamiento durante la primavera – verano, el reservorio deberá permanecer seco hasta que comience la nueva fase de llenado. Debe aprovecharse este momento para realizar la limpieza y mantenimiento correspondiente.

Debido a que las fases de carga y descarga operan siempre separadas, estos reservorios funcionan como estanques no estacionarios denominados “Depósitos por Lotes” (Juanico, 1999, Cap 6) y permiten mejorar la calidad del efluente contenido en ellos.

De todas formas, antes de utilizar las aguas para riego se deberá verificar si la misma cumple con los estándares de calidad propuestos en esta normativa. Para ello, en función del tipo de establecimiento, se procederá a analizar sobre una muestra representativa la concentración de los componentes mencionados en la sección 1.2 Estándares de Calidad Propuestos.

Es probable que debido a las características de los efluentes y las condiciones de operación ocurran floraciones de algas durante algunos periodos del almacenamiento. Esto no debe afectar el funcionamiento de los sistemas de riego siempre y cuando se operen de manera adecuada. Puede inclusive reducir el potencial de lixiviación del nitrógeno inorgánico ya que este se vuelca incorporado a la biomasa algal (US-EPA 2006, Cap 8). Para los establecimientos que utilizan riego localizado esto podría generar problemas de obstrucción en filtros y goteros por lo cual deberán extremarse los cuidados.

1.6.3. Contingencias

Si la calidad de los efluentes almacenados no cumple con los requisitos para riego propuestos en esta normativa estos deberán llevarse al sistema de tratamiento nuevamente.

Esta posible contingencia tiene que ser tenida en cuenta por los proyectistas que deberán presentar alternativas para el transporte de ese efluente desde el deposito de almacenamiento al sistema de tratamiento; y considerar el volumen extra que se requiere tratar para que no sobrepase la capacidad máxima del sistema de tratamiento.

Una alternativa a no volver a tratar los efluentes almacenados es diluirlos con los nuevos efluentes generados siempre y cuando la mezcla cumpla con los estándares propuestos. Esta operación deberá informarse a las autoridades correspondientes las cuales evaluarán su factibilidad.

1.7. Clasificación de Establecimientos y Contaminantes Químicos

El presente informe pretende reglamentar la autorización del uso de efluentes para irrigación de todos los establecimientos mencionados en el decreto 1485/12 de la Provincia del Neuquén y radicados en su territorio. Dicho decreto menciona que entre los establecimientos se incluyen urbanizaciones, loteos abiertos y cerrados, actividades recreativas – turísticas, comerciales, agropecuarias, mataderos, empresas de servicios, industrias y otras a determinar por la entonces Secretaria de Ambiente y Desarrollo Sostenible (hoy Secretaria de Desarrollo Territorial y Ambiente).

Debido a que dicha normativa abarca establecimientos muy heterogéneos entre sí resulta necesario clasificarlos de acuerdo al riesgo potencial que implica la utilización de sus efluentes. Se utiliza entonces el origen de los efluentes y los sistemas de tratamiento utilizados como criterios de diferenciación

Se propone la clasificación en las siguientes grupos:

- **Grupo A:** Establecimientos que solamente generen efluentes cloacales y tengan sistemas de tratamientos diseñados para tal fin.

Incluye urbanizaciones, loteos abiertos y cerrados, actividades recreativas – turísticas y comerciales.

- **Grupo B:** Establecimientos en donde entre los efluentes generados halla al menos una proporción de origen industrial y posean entonces sistemas de tratamiento diseñados para ello.

Incluye industrias, actividades agropecuarias y empresas de servicios.

Quedará a criterio de la Subsecretaría de Ambiente la inclusión en uno u otro grupo de los establecimientos en función de sus características particulares.

1.8. Características de Sitio y Manejo

La utilización de los efluentes para riego tiene el objetivo de dar disposición final a los mismos mediante su tratamiento en el suelo y aprovechamiento por los cultivos. Para asegurarse de no generar impactos negativos sobre el ambiente y las personas estos sistemas deben diseñarse siguiendo una serie de pautas que permiten gestionar los riesgos.

Dichas pautas incluyen características a considerar en los sitios de emplazamiento que los hagan aptos para su empleo, características de manejo de los cultivos que aseguren su óptimo desarrollo y características de operación de los sistemas de riego que garanticen la eficiencia en el uso de las aguas residuales.

Estas pautas sumadas a la planificación de cultivos y operación de riego constituyen un insumo vital que debe estar presente en la presentación de los informes tal que permita el control y fiscalización por parte de las autoridades competentes, tanto para su aprobación como también para su posterior monitoreo.

1.8.1. Requerimientos de Sitio

El primer paso en la evaluación de la factibilidad de instalación de un sistema de reúso de efluentes por infiltración lenta es la caracterización del sitio de emplazamiento del mismo incluyendo sus límites, el contexto en el que opera y sus componentes.

Es indispensable registrar los límites del espacio asignado al tratamiento, teniendo en cuenta no solo la superficie a regar sino también los caminos, sistemas de riego, estanques, lagunas, canales, etc. que sean necesarios para garantizar el funcionamiento. El objetivo del sistema es dar tratamiento dentro de dichos límites y parte de la evaluación de su eficiencia se realizara mediante monitoreos que registren los intercambios que se están dando entre el sistema y el medio.

Se entiende como atributos de sitio en el que opera el sistema a las características topográficas, de relieve, pendiente, hidrogeología, propiedades del suelo, profundidad y calidad del agua freática. En este sentido resulta necesario imponer limitaciones sobre algunos de estos aspectos con el objetivo de garantizar el correcto funcionamiento de los sistemas y minimizar el riesgo de impacto ambiental y sanitario.

Las condiciones propuestas que debe reunir el sitio para permitir el reúso de efluentes se detallan en la tabla que sigue a continuación (Tabla 1.2).

Características	Límite	Observaciones
Pendiente Máxima	7 % 15 %	Para riego por gravedad. Para riego localizado.
Relieve	-	Se recomienda no utilizar zonas bajas para evitar encharcamiento, agua de escurrimiento y presencia de freáticas altas.
Profundidad Mínima del Suelo	0,60 - 0,90 m	Sera determinada por la profundidad mínima requerida por el cultivo para su máximo desarrollo. En ningún caso podrá ser menor a 0,60 - 0,90 m según clase textural.
Profundidad Mínima a la Napa	3,00 m (*)	Profundidad mínima para considerar el vuelco sobre cuerpo receptor suelo. (*) Teniendo en cuenta la variación estacional en el nivel freático, podrían operarse estos sistemas con profundidades mínimas en la temporada de riego de 1,50 m con la misma eficiencia de tratamiento (WEF, 1990)
Hidrogeología	-	Evitar sitios con capas impermeables cerca de la superficie que puedan dar origen a napas colgantes. En suelos poco profundos evaluar discontinuidades geológicas (fracturas y grietas) que pudiesen filtrar efluentes a acuíferos.
Otras Limitaciones	-	Observar indicios de anegamiento, suelos pesados o poco estructurados, presencia de sales en superficie y/o plantas halófitas, afloramientos rocosos, etc.

Tabla 1.2: Requerimientos de Sitio

Un aspecto a considerar con mayor detalle es la profundidad mínima del suelo. Garantizar este parámetro resulta de vital importancia por dos razones principales: en primer lugar es indispensable para el correcto desarrollo radicular de los cultivos, necesario para conseguir las altas tasas de crecimiento y extracción de nutrientes buscadas; en segundo lugar determina el tiempo de residencia de los efluentes en el suelo, fenómeno que afecta la retención de compuestos y la acción biológica que hacen a su tratamiento (WEF, 1990, Cap 4). En la anterior publicación y en otras (US-EPA 2006 Cap 5) se mencionan profundidades mínimas para el establecimiento de estos sistemas que oscilan entre 0,60 - 0,90 m. Se recomienda que la profundidad mínima oscile en ese rango teniendo en cuenta la clase textural y su influencia en la permeabilidad del suelo.

Sobre los sitios estudiados deben evaluarse también otras potenciales limitaciones que pudiesen afectar el funcionamiento del sistema. Observar indicios de anegamiento temporal, presencia de sales en superficie o

presencia de plantas halófitas brinda información respecto al desarrollo potencial de los cultivos. Suelos pesados y poco estructurados no son recomendados debido a la baja permeabilidad y consecuente posibilidad de encharcamiento: la saturación del suelo por periodos prolongados genera condiciones de anaerobiosis con efectos perjudiciales sobre el suelo, plantas y generación de malos olores. Deberán analizar estos factores con criterios agronómicos para decidir sobre la conveniencia de utilización de los sitios estudiados.

Estos límites y recomendaciones son orientativos y generales. Pueden existir casos en donde se justifique la omisión de algunos de ellos sin que esto signifique un aumento del riesgo ambiental y sanitario. Para esos casos particulares el proyectista deberá demostrarlo ante las autoridades correspondientes.

1.8.2. Condiciones Iniciales

Una vez escogido el sitio para emplazar el sistema de disposición final de efluentes es necesario realizar un estudio en detalle del suelo y el agua subterránea con los siguientes objetivos:

- Confirmar que el sitio es apto para este tipo de sistemas y no existen condiciones limitantes que hallan sido pasadas por alto.
- Evaluar las características de interés agronómicos como información inicial para la selección de cultivos y el diseño de los agroecosistemas.
- Conocer las propiedades del suelo que influyen sobre el riego para diseñar y operar sistemas que tiendan a la máxima eficiencia en el uso del agua.
- Establecer las condiciones iniciales de sitio para evaluar mediante monitoreos los efectos que produce sobre el suelo y el agua freática.

Se deberán evaluar para ello las propiedades físicas, químicas, físico-químicas e hidráulicas de los suelos y la calidad del agua freática. Para asegurarse que los resultados sean representativos deben realizarse determinado número de muestreo según homogeneidad del suelo y tamaño del sistema de riego (Crites, 2014, Cap 2). El detalle del procedimiento de muestreo se detalla en la Sección 2.1.1. Requerimientos de Sitio y Estudio de Suelo.

Otro aspecto a considerar es el posible impacto diferencial que puede tener la aplicación de aguas residuales cloacales o industriales. Los efluentes industriales son potencialmente de inferior calidad debido a la mayor concentración de algunos componentes y la presencia de otros que normalmente no se encuentran en los cloacales. El mayor riesgo de impacto

ambiental y sanitario fundamenta la clasificación propuesta por esta normativa en los **Grupos A y B**.

Por estos motivos los establecimientos del Grupo B deberán presentar además de los análisis comunes con el Grupo A aquellos que cuantifiquen el contenido inicial en suelos y freática de los componentes particulares de sus efluentes industriales. Estos análisis tienen el objetivo de poder monitorear el efecto que provocan sobre el suelo y el agua freática.

1.8.3. Planificación del Agroecosistema

El objetivo principal para dar tratamiento final a los efluentes en este tipo de sistemas es lograr cultivos saludables con una elevada tasa de crecimiento, extracción de nutrientes y demanda de agua.

Para ello deben tenerse en cuenta dos aspectos principales. En primer lugar la selección de cultivos que bajo las condiciones regionales y las características particulares de ese sitio puedan lograr una alta tasa de crecimiento. El proyectista deberá dejar justificado las razones por las cuales se optó por esa especie o grupo de especies en particular y la potencial adaptación a dichas condiciones.

El segundo aspecto en importancia es la planificación de los agroecosistemas como herramienta para lograr cultivos saludables y productivos. A continuación se describen en detalle algunos aspectos que deben tenerse en cuenta:

- **Manejo Nutricional:** Si bien la utilización de efluentes aporta los principales macro y micronutrientes necesarios, estos no siempre coinciden con la demanda de los cultivos. Deberá tenerse en cuenta la necesidad de confeccionar un plan de manejo nutricional para garantizar una nutrición equilibrada mediante la suplementación con aquellos que sean deficientes en los efluentes.
- **Cosecha:** La cosecha de biomasa es un momento de vital importancia ya que permite la extracción de nutrientes como producto final del sistema de disposición final de efluentes. Es indispensable su cuantificadora para establecer de esta manera un balance nutricional por ciclo de cultivo y evaluar la eficiencia de tratamiento.

Para poder determinar la extracción debe cuantificarse en primer lugar la biomasa cosechada durante la temporada o ciclo de cultivo. A partir de conocer la composición nutricional de ese material, puede calcularse la extracción final.

El detalle con la información a presentar por los proyectistas se presenta en la 2.1.3. Planificación Productiva e incluye aspectos como la implantación, manejo cultural, manejo sanitario, etc.

Durante las etapas iniciales de crecimiento (especialmente en cultivos forestales) las plantas están estableciendo su sistema radicular por lo que la producción de biomasa y la absorción de nutrientes son menores. Para evitar la lixiviación de componentes durante ese periodo se deben limitar las cargas hidráulicas aplicadas. En sistemas forestales puede ser útil el establecimiento de especies herbáceas sobre el interfilas para el almacenamiento temporal del nitrógeno aplicado.

En las etapas de madurez o senescencia de los cultivos las tasas de crecimiento también disminuyen. En estos momentos también es importante ajustar las cargas hidráulicas a la demanda estimada de agua y nutrientes.

1.8.4. Operación de Riego y Manejo del Suelo

Como se menciona en capítulos anteriores, cuando estos sistemas no se operan de forma correcta pueden causar contaminación sobre el acuífero subterráneo debido a la lixiviación de compuestos (Bouwer, 1987)(Crites, 2014). Para minimizar el riesgo de ocurrencia, esta metodología propone la utilización de Láminas Hidráulicas de Diseño para determinar la cantidad de agua efluente que el sistema suelo - planta es capaz de absorber y tratar.

Lo anterior fundamenta la necesidad de diseñar y operar los sistemas de riego propendiendo a la mayor eficiencia y uniformidad en la utilización del agua. Se debe hacer especial hincapié en la aplicación correcta de la lámina de riego: un exceso aumenta el riesgo de contaminación de acuíferos; el déficit limita el crecimiento de los cultivos y eleva las necesidades de almacenamiento.

Por estas razones, en función del método de riego elegido, debe prestarse especial atención al cálculo de la lámina, tiempo e intervalo de riego. Deberá procurarse operar el sistema de acuerdo a estos parámetros, monitoreando la cantidad de agua aplicada y haciendo los ajustes necesarios según corresponda.

La uniformidad de riego también es un aspecto a tener en cuenta a la hora del diseño y operación. Sistemas con baja uniformidad generaran zonas de lixiviación de compuestos y otras de déficit de riego: para garantizar el tratamiento correcto de los efluentes estos deben aplicarse uniformemente sobre la superficie cultivada.

Si bien se propone establecer cargas máximas de DBO, se requiere cumplir con otras condiciones para evitar la sobrecarga, anaerobiosis y generación de malos olores. Entre ellas mantener condiciones aeróbicas en el suelo es esencial para permitir la degradación e incorporación de la materia orgánica volcada con los efluentes (Crites, 2014, Cap 8). Para mantener el perfil de suelo aeróbico se deben tomar algunos cuidados que hacen al buen manejo del riego, el suelo y el cultivo.

En primer lugar deben respetarse los ciclos de turnado de riego para garantizar tiempos de secado adecuados, especialmente en sistemas con riego gravitacional en donde ocurre la saturación del perfil. Entre riego y riego debe asegurarse un tiempo suficiente para que ocurra el secado del suelo. Este aspecto debe tenerse en cuenta en la organización de sistemas que requieren riego suplementario.

La compactación, la acumulación de sólidos y la aparición de costras como resultado del riego con aguas residuales pueden reducir la infiltración del perfil (Crites, 2014, Cap 8). Este fenómeno puede estar asociado a encharcamientos en la superficie los cuales son foco de propagación de mosquitos y otros vectores de enfermedades (OMS, 2006). Es necesaria la realización de laboreos superficiales cuando el suelo se encuentra seco para romper la costra y restablecer la infiltración.

1.8.5. Instalación de la Red Freatimétrica

El diseño de la red freaticimétrica tiene la función de monitorear la dinámica del agua freática y la calidad de la misma. Este aspecto es fundamental para el seguimiento ambiental y productivo del área a irrigar.

Se propone la instalación de al menos 3 freaticímetros a partir de los cuales puede estimarse la red de flujos. Este aspecto es importante ya que su determinación permite elegir con mayor precisión los puntos de monitoreo optando por aquellos representativos al funcionamiento del sistema.

Los freaticímetros deben estar acotados y se recomienda que tengan al menos 4,50 m de profundidad. Deben estar claramente señalizados, colocándose en lugares que aseguren su permanencia y de fácil acceso para la medición.

El diseño e instalación de la red freaticimétrica deberá realizarse por profesionales con competencia en el tema siguiendo estas recomendaciones. Se debe tener en cuenta que el objetivo buscado es la caracterización inicial y posterior monitoreo de las aguas subterráneas para evaluar el efecto de los sistemas de disposición final de efluentes.

1.9. Monitoreo

El monitoreo se realiza por varias razones. En primer lugar se debe determinar el rendimiento y eficacia de estos sistemas en el tratamiento de los efluentes para evitar afectaciones al suelo y al agua freática. Debe también verificarse el funcionamiento respecto al plan general de gestión de riesgos para minimizar los riesgos sanitarios. La recopilación de esta

información permite corregir la operación en caso de detectarse fallas en su funcionamiento.

El monitoreo proporciona también información sobre el manejo y operación de estos sistemas para su supervisión por parte de las autoridades correspondientes y el cumplimiento reglamentario.

Entre los aspectos a monitorear se incluye el riego y almacenamiento, los efluentes, el suelo, el agua freática y el manejo de los cultivos. Para realizarlo se propone utilizar sobre cada categoría una serie de indicadores que permiten caracterizar su funcionamiento. Estos indicadores fueron elegidos en función de su importancia y la factibilidad en la obtención del dato.

Sobre algunos de los indicadores fueron establecidos previamente límites para su utilización como es el caso de la calidad de los efluentes. El monitoreo consiste en verificar el cumplimiento de dichos límites en el tiempo para evitar afectaciones sobre el ambiente y la salud de los trabajadores.

Para otros indicadores el monitoreo consiste en verificar si están operando dentro de los valores de diseño. Otros fueron seleccionados para evaluar el impacto sobre el ambiente circundante.

En todos los casos un aspecto de mucha importancia es el método de obtención de muestras. Debe garantizarse que las mismas sean representativas y tomadas según los protocolos correspondientes para que su valor tenga significancia.

La frecuencia del monitoreo depende de la naturaleza del parámetro y su potencial riesgo de afectación. Los sistemas con riego por gravedad, debido a la menor eficiencia de riego, deberán monitorear aspectos que hacen al estado del acuífero subterráneo con mayor periodicidad.

Una descripción breve de las categorías mencionadas y los indicadores elegidos sigue a continuación. En la sección 2.1.9. se presentan tablas con los parámetros a monitorear, sus límites y frecuencia propuestos.

1.9.1. Riego y Almacenamiento

El monitoreo de estos parámetros tiene el objetivo de controlar que la operación del sistema de riego se este realizando en función de sus características de diseño.

Es necesario medir el caudal de efluentes para determinar los volúmenes de riego y las láminas aplicadas sobre las cuales se evalúa la carga de constituyentes volcados. Se necesita una estación de aforo o caudalímetro previo al ingreso al sistema de riego.

La obtención de esta información es de vital importancia para evaluar la eficiencia de tratamiento y corregir en caso de afectaciones al suelo o acuífero.

Es importante también realizar un seguimiento del agua suplementaria utilizada y los niveles de almacenamiento. Se propone se monitoree su funcionamiento para evaluar el funcionamiento general del sistema.

1.9.2. Efluente

La calidad del efluente debe monitorearse frecuentemente para evitar impactos ambientales y sanitarios y para cumplir con los límites establecidos por esta normativa.

Las muestras deben ser representativas del efluente utilizado para **riego** y tienen que ser recolectadas en algún punto anterior al ingreso al sistema de riego. Se tiene que tener en cuenta el efluente proveniente del sistema de almacenamiento a la hora de muestrear.

Los parámetros generales a determinar son fisicoquímicos, orgánicos, microbiológicos y nutrientes. En los establecimientos del **Grupo B** que vuelcan efluentes industriales también se deberá controlar la presencia de metales y otros posibles contaminantes. La Subsecretaría de Ambiente puede exigir la presencia y concentración de otros compuestos en función de la naturaleza de la actividad.

La calidad microbiológica establecida para los efluentes es una parte de la estrategia general de control de riesgos sanitarios. Su monitoreo permite verificar el funcionamiento de la planta de tratamientos y, en caso de eventuales fallas, extremar las precauciones en la operación del riego y cultivos para evitar afectaciones a la salud.

1.9.3. Suelo

El monitoreo del suelo tiene varios objetivos. Permite verificar la eficiencia del sistema de tratamiento de efluentes, evaluar las condiciones para el crecimiento de los cultivos y medir los cambios que ocurren en el tiempo debidos al reúso para riego.

El muestreo debe realizarse garantizando la representatividad de las muestras, tanto para fines ambientales como agronómicos. Se propone la utilización de muestras compuestas para determinar valores promedios por sitio utilizando las siguientes pautas:

- Se realizara una muestra compuesta por cada sector de riego. Para sitios con diferentes tipos de suelo deberán tomarse muestras independientes de cada uno.

- Deberá componerse de al menos 3 muestreos distribuidos por el sitio de riego.

Las muestras de suelo permiten evaluar sus condiciones generales, su contenido nutricional, presencia de sales y contenido orgánico. Estas brindan información que puede ser útil para mejorar la sanidad y manejo de los cultivos, además permiten a las autoridades correspondientes monitorear el funcionamiento de los sistemas.

Para aquellos establecimientos del **Grupo B** se monitoreara también la presencia de metales u otros contaminantes potenciales debido a las características particulares de su actividad.

1.9.4. Agua Freática

El reúso de aguas residuales para riego puede tener efectos negativos sobre los acuíferos subterráneos. Uno de los impactos de mayor importancia se debe a la contaminación de los mismos debido a la lixiviación de componentes de los efluentes que no son tratados o absorbidos por el sistema suelo - planta.

Se mencionan como efectos del reúso sobre el agua freática el aumento de su salinidad, el incremento en la concentración de compuestos nitrogenados y orgánicos, la presencia de metales y contaminantes microbiológicos (OMS, 2006, Cap 8)(Crites, 2014). Estos sistemas, según su diseño y operación, tienen eficiencias muy altas en el tratamiento y remoción de componentes, comprobado incluso a nivel regional (Álvarez, 2008), pero dicha remoción puede no alcanzar el 100%.

El objetivo principal del sistema de tratamientos planteado en esta normativa es dar disposición final a los efluentes. Se establecieron pautas para su diseño, operación y manejo que apuntan a conseguir sistemas con la más alta eficiencia. Sin embargo, la remoción y absorción puede no ser completa, esperándose mayor o menor presencia de algunos componentes en el agua freática.

Por estas razones una parte esencial para evaluar y evitar el impacto sobre las aguas subterráneas es el monitoreo de las mismas. Los objetivos del monitoreo incluyen la evaluación de la eficiencia general del sistema y la evaluación del impacto sobre las aguas freáticas. Esta información permite detectar fallas en el diseño y operación que deberán corregirse para evitar la contaminación de las aguas subterráneas.

La evaluación del impacto puede realizarse comparando la calidad del agua freática antes y después de la implementación de los sistemas de reúso de efluentes. Este contraste permite conocer si hubo variaciones y, en principio, atribuir las al riego con efluentes. Para comprobar dicho impacto

es importante continuar con el monitoreo del agua freática mientras dure su utilización.

Los puntos de muestreo serán definidos con anterioridad en la instalación de la red freaticométrica. La ubicación de estos últimos es fundamental para asegurarse que sean representativos de la dinámica freática y los límites del sistema. Se vuelve a hacer mención a la importancia que tiene el diseño de la red freaticométrica y la necesidad de que sea realizado por profesionales competentes en el tema.

Los parámetros a evaluar y su frecuencia se detallan en la sección 2.1.9. e incluyen aquellos con mayor potencial de lixiviación y contaminación de acuíferos. En los establecimientos del **Grupo B** se deberá evaluar la presencia de metales y otros contaminantes utilizados en los procesos industriales.

1.9.5. Cultivos

Los objetivos en el monitoreo de cultivos incluyen tener un seguimiento de su crecimiento y sanidad, evaluarlos en función de la estrategia general de gestión de riesgos sanitarios, asegurar el cumplimiento normativo y estimar la extracción de nutrientes a partir de la extracción de biomasa en cosecha.

Se deberá presentar regularmente información respecto a la implementación y manejo de los cultivos para poder caracterizar los agroecosistemas. El objetivo es constatar que se realiza un manejo correcto para maximizar el crecimiento y con ello la eficiencia del sistema de tratamiento.

La extracción de biomasa en cosecha debe monitorearse regularmente. La relación de esta última con sus constituyentes permite estimar la salida de nutrientes del sistema.

Es importante comparar la extracción de biomasa y nutrientes proyectada con la realmente obtenida para realizar ajustes en las láminas de aplicación basadas en la carga de nutrientes. Esto es particularmente útil para cultivos forrajeros cosechados anualmente en donde ciclos sucesivos de cultivos podrían lograr láminas con mayor precisión de cálculo.

Otro punto a controlar es el cumplimiento normativo respecto a la estrategia general de gestión de riesgos sanitarios. Es importante registrar los cultivos realizados, su forma de aprovechamiento y el tiempo desde el último riego con efluentes.

1.10. Manejo del Riesgo Sanitario

El manejo del riesgo sanitario de esta metodología se basa en el enfoque de gestión de riesgos propuestos por la Organización Mundial de la Salud para el Uso de Aguas Residuales en Agricultura (OMS, 2006). Este enfoque se basa en dos aspectos: por un lado minimizar los riesgos sanitarios a partir de la detección de los posibles puntos de contaminación y el establecimiento de pautas de manejo adecuadas; por otro lado se encuentra que con estándares demasiados estrictos puede que el uso no sea sostenible, exista una menor adopción y su utilización por fuera de las normas conduzca a un mayor riesgo sanitario.

El principal peligro para la salud asociado al uso de aguas residuales son los patógenos que estas poseen y, en menor medida, las enfermedades transmitidas por vectores que puede proliferar como resultado de actividades de riego poco eficientes (OMS, 2006).

La presencia de productos químicos orgánicos e inorgánicos también genera riesgos directos e indirectos a la salud. Por un lado la presencia de productos tóxicos corrosivos o cancerígenos puede afectar a aquellos expuestos al contacto directo con los efluentes. La contaminación de los acuíferos con nutrientes inorgánicos disminuye la calidad del agua subterránea y afecta la salud cuando esta se utiliza para bebida, por ejemplo altas concentraciones de nitratos en el agua potable pueden inducir metahemoglobinemia en bebés y niños (OMS, 2006, Cap 3). La eutrofización de acuíferos utilizados para bebida o recreación favorece el crecimiento de organismos productores de toxinas que pueden causar gastroenteritis, daño hepático, daño nervioso e irritación en la piel.

Los grupos de personas con mayor riesgo potencial son los trabajadores agrícolas y sus familias, los consumidores y las comunidades cercanas a los campos afectados. Las principales vías de exposición son el contacto directo con las aguas residuales antes, durante o después del riego y el manejo y/o utilización de los cultivos.

La estrategia de gestión de riesgos se basa en una serie de puntos de control o barreras que disminuyen el riesgo y que, ante la falla de uno, el impacto negativo es mitigado mediante los puntos de control subsiguientes. La principal medida de control del riesgo sanitario debido a patógenos es el tratamiento de los efluentes y la disminución de la carga microbiológica siguiendo las pautas establecidas por la OMS (2006). Sin embargo si estos sistemas fallaran esta metodología está diseñada para disminuir el riesgo de enfermedad a partir de los siguientes puntos de control:

- I. **Restricción de Cultivos**
Para esta normativa se propone la utilización de cultivos que no sean de consumo humano. Esto disminuye notablemente el riesgo en los consumidores.
- II. **Métodos de Riego**
Cada método de riego tiene sus riesgos propios. Se prohíbe la utilización del riego por aspersión por el riesgo de deriva y contaminación sobre comunidades cercanas y trabajadores; se establecen normas estrictas para disminuir el riesgo de los trabajadores cuando se utiliza el riego por inundación o surcos.
- III. **Control de la Exposición**
Incluye las medidas de protección personal e higiene que deben cumplirse en los establecimientos para disminuir el riesgo de contacto de los trabajadores agrícolas.

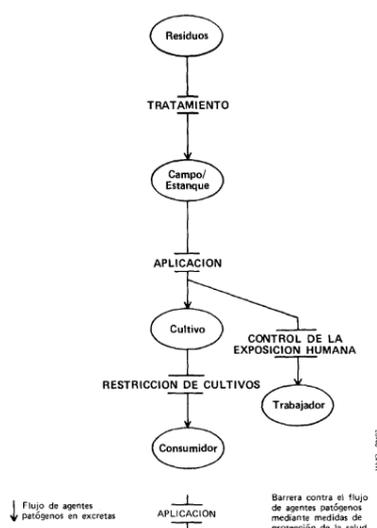


Figura 1.3: Gestión de Riesgos (OMS, 1990)

Para disminuir el riesgo de afectación es indispensable disminuir las posibilidades de ocurrencia de contacto directo con aguas residuales. Este hecho implica varias cuestiones a garantizar en la implementación de la normativa:

- **Evitar el ingreso al sector de riego de cualquier persona ajena a la operación.**
Es indispensable que el área abarcada por el sistema de disposición final de efluentes este cercada correctamente para evitar el ingreso de personas y animales. Deben utilizarse carteles o medios gráficos adecuados que adviertan del peligro de ingreso y el tipo de

tratamiento que allí se realiza. Si el sistema esta próximo a una zona habitada se propone realizar campañas de concientización sobre la presencia y riesgos del sistema.

- **Restringir el manejo y operación del sistema a personal específico.**

En primer lugar debe capacitarse a los trabajadores respecto del sistema que están operando y los riesgos que implica para el y su familia.

Se deberá contar en todo momento con la ropa de trabajo adecuada que incluye al menos botas, mameluco, guantes y barbijo. El establecimiento debe disponer de agua potable y sanitarios adecuados para la higienización.

- **Realizar el aprovechamiento de los cultivos solo bajo condiciones adecuadas.**

La cosecha y aprovechamiento de los cultivos implica el riesgo de contacto sobre los consumidores. Deben garantizarse los tiempos de carencia desde el ultimo riego con efluentes.

Se debe informar al consumidor el origen del producto y el sistema de tratamiento en el que esta implicado. Procurar la utilización de ropa de protección adecuada para su manipulación.

2. Sección II - Requisitos de la presentación

Los sistemas propuestos deberán ser aprobados por la Subsecretaría de Ambiente. Para ello, los mismos deberían contener, como mínimo, la siguiente información. La elección de los parámetros que componen el informe fue para facilitar las tareas de diseño y operación de los sistemas, así como la evaluación, fiscalización y monitoreo posteriores.

Teniendo en cuenta la heterogeneidad que existe entre los establecimientos que cuentan con sistemas de tratamientos de efluentes cloacales y/o industriales, y debido a que actualmente solo algunos de ellos reutilizan dichos efluentes para riego, se establecieron dos categorías que pretenden agrupar los actuales y futuros sistemas. Dichas categorías son:

- 1) **Sistemas de Tratamiento proyectados o existentes sin Reúso actual de Efluentes** con futuro proyecto de sistema de disposición final de efluentes mediante reúso para riego.
- 2) **Sistema de Tratamiento Con Reúso de Efluentes** para riego que requiere verificación de su eficiencia.

El presente informe tiene como objetivo plantear una metodología que permita sistematizar la presentación de proyectos para cada una de las categorías antes mencionadas.

Se incluyeron algunos ejemplos de desarrollo de la metodología sobre varios apartados con el objetivo de mejorar su comprensión. El ejemplo es hipotético y esta basado en información de algunos establecimientos matarifes ubicados en la provincia.

2.1. Sistemas de Tratamiento proyectados o existentes sin Reúso actual de efluentes

Esta categoría incluye establecimientos proyectados, establecimientos existentes sin sistemas de tratamientos de efluentes y establecimientos existentes con sistemas de tratamiento de efluentes sin reúso que requieren diseñar sistemas de disposición final de efluentes mediante reúso para riego.

Los proyectos deberán presentar la siguiente información:

2.1.1. Requerimientos de Sitio y Estudio de Suelo

Los sitios escogidos para realizar el riego con efluentes deberán cumplir con las condiciones mencionadas en la Tabla 2.1:

Características	Límite	Observaciones
Pendiente Máxima	7 %	Para riego por gravedad.
	15 %	Para riego localizado.
Relieve y Topografía	-	Se recomienda no utilizar zonas bajas para evitar encharcamiento, agua de escurrimiento y presencia de freáticas altas.
Profundidad Mínima del Suelo	0,60 - 0,90 m	Sera determinada por la profundidad mínima requerida por el cultivo para su máximo desarrollo. En ningún caso podrá ser menor a 0,60 - 0,90 m según clase textural.
Profundidad Mínima a la Napa	3,00 m (*)	Profundidad mínima para considerar el vuelco sobre cuerpo receptor suelo . (*) Teniendo en cuenta la variación estacional en el nivel freático, podrían operarse estos sistemas con profundidades mínimas en la temporada de riego de 1,50 m con la misma eficiencia de tratamiento (WEF, 1990)
Hidrogeología	-	Evitar sitios con capas impermeables cerca de la superficie que puedan dar origen a napas colgantes. En suelos poco profundos evaluar discontinuidades geológicas (fracturas y grietas) que pudiesen filtrar efluentes a acuíferos.
Otras Limitaciones	-	Observar indicios de anegamiento, suelos pesados o poco estructurados, presencia de sales en superficie y/o plantas halófitas, afloramientos rocosos, etc.

Tabla 2.1: Requerimientos de Sitio

Estos límites y recomendaciones son orientativos y fueron diseñados para disminuir los riesgos potenciales en la utilización de efluentes. En establecimientos en donde se propone la omisión de algunos de ellos se deberá justificar ante la Subsecretaria de Ambiente que esto no significa un aumento de los mismos.

Deberá presentarse un estudio de suelos que incluya los siguientes parámetros.

- Profundidad Efectiva.
- Profundidad Freática. Presencia de moteados u otros indicadores de variación del nivel freático.
- Descripción del Perfil Litológico.
- Propiedades Físicas: Textura, estructura, porcentaje de grava. Sobre cada horizonte.

- Propiedades Físico-químicas: pH, conductividad eléctrica (CE), capacidad de intercambio catiónico (CIC), materia orgánica, relación de absorción de sodio (RAS).
- Aniones y Cationes: Nitrógeno Total, P Total, NO₃, PO₄, K, Ca, Mg, Na, HCO₃, Boro
- Propiedades Hidráulicas: Tasa de Infiltración, Porosidad Efectiva
- Metales y otros Contaminantes: Solo para el **Grupo B**. Cobre, níquel, plomo, zinc y cadmio. Pueden exigirse otros componentes de acuerdo a la naturaleza del efluente según requiera la Subsecretaría de Ambiente.

Para sitios de riego medianos a grandes con condiciones uniformes de suelo debe realizarse una perforación cada 2 - 4 Ha. En sistemas de riego pequeños (< 5 Ha) deberán realizarse como mínimo tres perforaciones distribuidas uniformemente. Los sitios de muestreo deberán georeferenciarse y ubicarse posteriormente en el plano del establecimiento.

Hay que informar también el uso actual del suelo y, si existiese información, el uso pasado.

Deberá tenerse en cuenta que el estudio de suelos tiene como fin establecer la condición inicial del sistema para evaluar su factibilidad y posteriormente monitorear su funcionamiento. Por esta razón las determinaciones deben estar realizadas y firmadas por profesionales competentes en la materia y deben ser analizadas de forma crítica desde una perspectiva ambiental - agronómica.

2.1.2. Funcionamiento General y Carga Anual

2.1.2.1. Caudales, Concentraciones y Carga Anual

Los interesados deberán brindar en el marco de este informe un detalle de las condiciones de funcionamiento actuales o proyectadas del sistema de tratamiento. Se deberán tener en cuenta al menos dos situaciones de funcionamiento:

- Funcionamiento mínimo o de mantenimiento: Se entiende esta situación como aquella en donde las industrias y establecimientos agropecuarios no estén en producción; o bien las empresas de servicios, urbanizaciones, loteos o proyectos turísticos no estén en desarrollo pleno de sus actividades, pero para ambos casos las tareas realizadas demanden como mínimo tareas de mantenimiento que generen efluentes cloacales y/o industriales y deban ser tratados por su correspondiente sistema de tratamiento.

- **Funcionamiento normal:** Se entiende esta situación a aquella en donde los establecimientos contemplados en la normativa estén en desarrollo pleno de las actividades para las que fueron planificadas.

Quedará a criterio de la Subsecretaría de Ambiente y del técnico responsable exigir otras condiciones de utilización en función del tipo de establecimiento y la planificación realizada.

2.1.2.2. Caracterización de los Efluentes

Para cada una de las situaciones planteadas se deberá presentar:

- Una descripción del origen de los efluentes generados en función de las actividades y procesos realizados, de las unidades en actividad, etc.
- Una estimación del periodo en esa condición de funcionamiento.
- Los caudales medios y máximos de salida del sistema de tratamiento de efluentes.
- Una caracterización fisicoquímica y microbiológica de los efluentes generados por el sistema de tratamiento para los parámetros mencionados en la **Tabla 1.1: Estándares de Calidad de Efluentes para Riego.**

En los establecimientos que actualmente no cuentan con sistemas de tratamiento y se encuentran proyectándolos, deberán presentar los datos de diseño de los mismos como caracterización de los efluentes a generar. Se propone la presentación en tablas como las que siguen.

Situación	Origen de los Efluentes	Periodo de Funcionamiento (meses)	Q medio (m ³ /día)	Q máximo o picos (m ³ /día)
Mantenimiento				
Normal				
Ejemplo				
<i>Mantenimiento</i>	<i>Cloacales</i>	<i>4</i>	<i>3</i>	<i>4</i>
<i>Funcionamiento 50% Capacidad</i>	<i>Cloacales + Faena</i>	<i>4</i>	<i>12</i>	<i>15</i>
<i>Funcionamiento Máximo</i>	<i>Cloacales + Faena</i>	<i>4</i>	<i>22</i>	<i>25</i>

Tabla 2.2: Condiciones de Funcionamiento

Para la caracterización fisicoquímica y bacteriológica **de cada situación de funcionamiento** deben adjuntarse los análisis correspondientes, los protocolos mediante los cuales fueron realizados, la fecha y los profesionales responsables de los mismos. En el caso de sistemas proyectados deben presentar los valores de diseño debidamente justificados.

En la operación normal bajo ningún aspecto pueden superarse las concentraciones límites establecidas por esta normativa. Pueden tolerarse valores fuera de rango de forma eventual debido a fallas en procesos industriales o sistemas de tratamiento, sin embargo estas deben corregirse rápidamente ya que comprometen la eficiencia del tratamiento y generan potenciales riesgos sanitarios y ambientales.

2.1.2.3. Funcionamiento General de Diseño

Teniendo en cuenta estas situaciones, debe presentarse un diagrama que contemple el funcionamiento anual para un año tipo en plena producción que servirá como base para el dimensionamiento del sistema de disposición final de efluentes. En el mismo se debe declarar a nivel mensual la situación de funcionamiento proyectada, caudales medios, volúmenes totales para ese periodo, concentración y carga de nitrógeno total y fósforo en el agua de riego. Se propone la presentación en tablas como la que sigue (Tabla 2.3.):

Se prevé en función de la naturaleza de los establecimientos y el origen de los efluentes generados exigir la concentración y carga anual para otros componentes según lo requiera la Subsecretaría de Ambiente.

Mes	Situación de Funcionamiento Proyectada	Q medio (m ³ /día)	Volumen (m ³)	Conc. de N (mg/l)	Carga de N (Kg)	Conc. de P (mg/l)	Carga de P (Kg)
Ene	Fun. Máximo	22	682	190	129,6	10	6,8
Feb	Fun. Máximo	22	616	190	117,0	10	6,2
Mar	Fun. 50%	12	372	190	70,7	10	3,7
Abr	Fun. 50%	12	360	190	68,4	10	3,6
May	Mant.	3	93	55	5,1	1	0,1
Jun	Mant.	3	90	55	5,0	1	0,1
Jul	Mant.	3	93	55	5,1	1	0,1
Ago	Mant.	3	93	55	5,1	1	0,1
Sep	Fun. 50%	12	360	190	68,4	10	3,6
Oct	Fun. 50%	12	372	190	70,7	10	3,7
Nov	Fun. Máximo	22	660	190	125,4	10	6,6
Dic	Fun. Máximo	22	682	190	129,6	10	6,8
Total	-	12,3	4473	-	800	-	41,4

Tabla 2.3: Funcionamiento General de Diseño

2.1.3. Planificación productiva

La siguiente información a presentar tiene el objetivo de demostrar que la planificación productiva puede sustentar cultivos con alta productividad y absorción de nutrientes. Deberá ser:

- **Especies a implantar.** Detalles de variedades o cultivares, características. Criterios de selección en función de los objetivos del sistema de disposición final de efluentes.
- **Método de riego.** Método elegido. Criterios de selección. Eficiencia de riego estimada.
- **Implantación.** Método de implantación. Fecha. Densidad. Labranza primaria y/o secundaria. Herramientas y profundidad.
- **Labores culturales.** Momento y tarea. Objetivos.
- **Manejo nutricional.** Balance y planificación. Productos. Dosis y fecha.
- **Manejo Sanitario.** Principales plagas y enfermedades de prevalencia en la región. Momentos de aparición. Monitoreo. Herramientas de control.

- **Cosecha.** Duración del ciclo de cultivo. Rendimiento estimado. Momento y forma de aprovechamiento. Extracción de N y P estimada anual y por ciclo de cultivo.
- **Escalamiento.** Superficie implantada en función de efluentes generados. Ajuste de lámina según estados inmaduros o senescencia.

Los proyectistas podrán brindar detalles sobre otros aspectos que consideren de interés y justifiquen la elección del cultivo y su manejo. La Subsecretaría de Ambiente en función de las características particulares de cada región o establecimiento podrá exigir la presentación de otros aspectos y detalles.

2.1.4. Estimación de la carga hidráulica de diseño

El sistema de tratamiento propuesto se define como Tratamiento Natural por Infiltración Lenta (Crites, 2014)(WEF, 1990). Para el diseño de los sistemas de riego y el ajuste de la superficie a irrigar este método se basa en la definición de un Parámetro Limitativo de Diseño (PLD) el cual establece la lámina de efluentes máxima que puede aplicarse.

Se utilizan como ejemplo de cálculo datos para un establecimiento ubicado en Loncopue que proyecta riego por goteo para una forestación de alta densidad. Se estimaron todas las Láminas de Diseño para este ejemplo.

2.1.4.1. Láminas Hidráulicas Parciales

Deben determinarse por establecimiento una serie de láminas hidráulicas de diseño basadas en parámetros limitativos. Dichos parámetros permiten estimar la lámina hidráulica anual y mensual de efluentes que puede aplicarse como máximo al suelo para que cumpla con la función de tratar las aguas residuales y satisfacer los requerimientos de los cultivos, utilizándose luego este valor para el ajuste de la superficie a irrigar. El cálculo de cada uno de ellos sigue a continuación:

Lámina Hidráulica basada en los Requerimientos de Riego (L_{Riego})

La Lámina Hidráulica basada en los Requerimientos de Riego (L_{Riego}) es igual a las necesidades brutas de riego (N_{Brutas}). Su estimación se debe hacer a partir de la evapotranspiración de referencia (ET_o) del sitio, se ajusta luego en función del tipo de cultivo, su disposición espacial y la eficiencia de aplicación del método de riego elegido.

Se propone presentar los datos en una tabla como la que sigue (Tabla 2.4). Nótese que en el ejemplo no se utiliza la P_p para la estimación de las N_{net} ya que es un ambiente árido a semiárido.

Mes	ETo (mm/mes)	Kc	Etc (mm/mes)	Pp (mm/mes)	Nnet (mm/mes)	NBrutas (mm/mes)
Ene	200,9	0,80	160,7	10,2	225,0	305,6
Feb	161,8	0,70	113,3	11,4	158,6	215,4
Mar	110,1	0,60	66,0	16,4	92,4	125,6
Abr	94,8	0,50	47,4	30,3	66,4	90,1
May	67,9	0,40	27,2	49,4	38,0	51,6
Jun	51,9	0,00	0,0	73,8	0,0	0,0
Jul	59,8	0,00	0,0	39,0	0,0	0,0
Ago	71,0	0,60	42,6	53,7	59,6	81,0
Sep	103,8	0,65	67,5	23,9	94,5	128,3
Oct	137,0	0,70	95,9	11,7	134,3	182,4
Nov	162,9	0,80	130,3	7,4	182,4	247,8
Dic	192,8	0,80	154,3	9,6	216,0	293,3
Total	1414,7	-	905,1	336,8	1267,2	1721,3
Coefficiente de Localización					1,4	
Eficiencia de Riego					90 %	
Uniformidad de Riego					90 %	
1 - Requerimientos de Lavado					82 %	

Tabla 2.4: Requerimientos de Riego

Deben tenerse en cuenta algunas consideraciones:

- I. Evapotranspiración de referencia (ETo): Debe precisarse el sitio para el cual fue determinado ese dato. Presentar además la cita bibliográfica de donde fue obtenido.
- II. Coeficiente de Cultivo (Kc). Debe presentarse la cita bibliográfica de donde fue obtenido.
- III. Precipitación (Pp). Debe precisarse el sitio para el cual fue determinado ese dato. Presentar además la cita bibliográfica de donde fue obtenido.

IV. Necesidades netas (N_{net}). Se calculan restando a la evapotranspiración del cultivo la precipitación para cada periodo. En zonas áridas y semiáridas la precipitación no se utiliza como factor de diseño. Para riego localizado debe afectarse su valor por un coeficiente de localización.

Deberán tenerse en cuenta para el cálculo de las necesidades totales las particularidades de cada método de riego y su cultivo asociado como son el factor de localización, coeficiente de uniformidad, requerimientos de lavado y eficiencia de aplicación. Para cada uno de estos factores, en el caso que el sistema lo requiera, se debe describir su proceso de cálculo o las bases teóricas en que se sustentan.

El resultado final de esta estimación es la determinación de las necesidades brutas de riego (N_{Brutas}) las cuales son iguales a la Lámina Hidráulica basada en los Requerimientos de Riego (L_{riego}). Este valor es indicativo de la máxima cantidad de agua que puede aportarse al cultivo para las condiciones en las cuales se encuentra, de modo tal que su productividad sea máxima y se minimicen las pérdidas por percolación.

Lámina Hidráulica basada en la Carga de Nitrógeno (L_N)

Debe estimarse la Lámina Hidráulica basada en la Carga de Nitrógeno (L_N) a nivel mensual mediante la utilización de expresión (1.8) mencionada en la sección 1.4.2 Balance de Nitrógeno.

(1.8)

$$L_N \left(\frac{mm}{mes} \right) = \frac{\left(N_{Brutas} \left(\frac{mm}{mes} \right) + Pp \left(\frac{mm}{mes} \right) - ETr \left(\frac{mm}{mes} \right) \right) * C_{NPer} \left(\frac{mg}{l} \right) + U \left(\frac{Kg}{Hames} \right) * 100 \frac{mg Ha}{Kg m^2}}{C_{NEf} \left(\frac{mg}{l} \right) * (1 - f)}$$

Donde:

- o L_N : Lámina Hidráulica basada en la Carga de Nitrógeno. Representa la máxima lámina de efluentes que puede aplicarse al mes para que el sistema cumpla con la remoción de nitrógeno.
- o N_{Brutas} : Necesidades Brutas de Riego. Obtenidas a partir de los requerimientos de riego para el establecimiento.
- o Pp : Precipitación. Si fue utilizada como factor de diseño de los requerimientos de riego no utilizar. En zonas áridas y semiáridas donde no se utilizan para el cálculo de los requerimientos de riego deben tenerse en cuenta.
- o ETr : Evapotranspiración real del cultivo. Emplear valores calculados en requerimientos de riego.

- o $C_{N\text{ Per}}$: Concentración de nitrógeno en el agua de percolación. Se recomienda utilizar valores menores a 5 mg/l.
- o U : Extracción de nitrógeno mensual del cultivo. Si no se cuenta con este dato ver método de cálculo.
- o $C_{N\text{ Ef}}$: Concentración de nitrógeno en el agua efluente utilizada para riego.
- o f : Fracción del nitrógeno que se pierde por desnitrificación o volatilización. Se recomienda utilizar valores entre 0,15 - 0,25.

Los valores deben volcarse y presentarse en una tabla como la que sigue (Tabla 2.5). También deben presentarse los valores definidos de $C_{N\text{ Per}}$ y f y su justificación.

Mes	N_{Brutas} (mm)	U_N (Kg / Ha)	$C_{N\text{ Ef}}$ (mg/l)	L_N (mm)
Ene	305,6	27,5	190	24,8
Feb	215,4	19,4	190	17,6
Mar	125,6	11,3	190	10,6
Abr	90,1	8,1	190	8,3
May	51,6	4,7	55	20,2
Jun	0,0	0,0	55	8,9
Jul	0,0	0,0	55	4,7
Ago	81,0	7,3	55	28,8
Sep	128,3	11,6	190	11,1
Oct	182,4	16,4	190	15,0
Nov	247,8	22,3	190	20,0
Dic	293,3	26,4	190	23,8
Total	1721,3	155,0	-	193,8
	$C_{N\text{ Per}}$ (mg/l)		5	
	f		0,25	

Tabla 2.5: Lámina Hidráulica basada en la Carga de Nitrógeno (LN)

Lámina Hidráulica basada en la Carga de Fósforo (L_P)

Debe estimarse la Lámina Hidráulica basada en la Carga de Fósforo (L_P) a nivel mensual mediante la utilización de expresión (1.11) mencionada en la sección 1.4.3 Balance de Fósforo.

(1.11)

$$L_P \left(\frac{mm}{mes} \right) = \frac{\left(N_{Brutas} \left(\frac{mm}{mes} \right) + Pp \left(\frac{mm}{mes} \right) - ETr \left(\frac{mm}{mes} \right) \right) * C_{P Per} \left(\frac{mg}{l} \right) + U \left(\frac{Kg}{Ha mes} \right) * 100 \frac{mg Ha}{Kg m^2}}{C_{PEf} \left(\frac{mg}{l} \right)}$$

Donde:

- o L_P : Lámina Hidráulica basada en la Carga de Fósforo. Representa la máxima lámina de efluentes que puede aplicarse al mes para que el sistema cumpla con la remoción de fósforo.
- o N_{Brutas} : Necesidades Brutas de Riego. Obtenidas a partir de los requerimientos de riego para el establecimiento.
- o Pp : Precipitación. Si fue utilizada como factor de diseño de los requerimientos de riego no utilizar. En zonas áridas y semiáridas donde no se utilizan para el cálculo de los requerimientos de riego deben tenerse en cuenta.
- o ETr : Evapotranspiración real del cultivo. Emplear valores calculados en requerimientos de riego.
- o $C_{P Per}$: Concentración de fósforo en el agua de percolación. Se recomienda utilizar valores menores a 0,5 mg/l.
- o U : Extracción de fósforo mensual del cultivo. Si no se cuenta con este dato ver método de cálculo.
- o C_{PEf} : Concentración de fósforo en el agua efluente utilizada para riego.

Los valores deben volcarse y presentarse en una tabla como la que sigue (Tabla 2.6). Debe presentarse también el valor de $C_{P Per}$ utilizado y su justificación.

Mes	N _{Brutas} (mm)	U _P (Kg / Ha)	C _{P Ef} (mg/l)	L _P (mm)
Ene	305,6	7,1	10	78,8
Feb	215,4	5,0	10	55,7
Mar	125,6	2,9	10	33,0
Abr	90,1	2,1	10	24,6
May	51,6	1,2	1	157,0
Jun	0,0	0,0	1	36,9
Jul	0,0	0,0	1	19,5
Ago	81,0	1,9	1	234,3
Sep	128,3	3,0	10	34,1
Oct	182,4	4,2	10	47,3
Nov	247,8	5,8	10	63,8
Dic	293,3	6,8	10	75,6
Total	1721,3	40,0		860,5
	C_{P Per} (mg/l)		0,5	

Tabla 2.6: Lámina Hidráulica basada en la Carga de Fósforo (LP)

2.1.4.2. Lámina Hidráulica Final de Diseño

Una vez calculadas todas las láminas hidráulicas parciales para cada uno de los parámetros limitativos de diseño (L_{Riego} , L_N y L_P) las mismas deben utilizarse para estimar la Lámina Hidráulica Final de Diseño.

La selección de la Lámina Hidráulica Final de Diseño (L_{Final}) se realiza a nivel mensual utilizándose la lámina de menor valor entre las calculadas. La Lámina Hidráulica Final de Diseño anual será la sumatoria de las L_{Final} mensuales. La tabla que sigue a continuación (Tabla 2.7) debe estar presente en el informe.

Para el ejemplo de cálculo desarrollado en esta sección la Lámina Final de Diseño esta determinada por la L_N durante la mayor parte del tiempo, a excepción de los meses de junio y julio en donde esta determinada por la L_{Riego} . Nótese en negrita los valores de las láminas parciales utilizadas en el diseño final.

Mes	L_{Riego} (mm)	L_N (mm)	L_P (mm)	L_{Final} (mm)
Ene	305,6	24,8	78,8	24,8
Feb	215,4	17,6	55,7	17,6
Mar	125,6	10,6	33,0	10,6
Abr	90,1	8,3	24,6	8,3
May	51,6	20,2	157,0	20,2
Jun	0,0	8,9	36,9	0,0
Jul	0,0	4,7	19,5	0,0
Ago	81,0	28,8	234,3	28,8
Sep	128,3	11,1	34,1	11,1
Oct	182,4	15,0	47,3	15,0
Nov	247,8	20,0	63,8	20,0
Dic	293,3	23,8	75,6	23,8
Total	1721,3	193,8	860,5	180,1

Tabla 2.7: Lámina Hidráulica Final de Diseño

2.1.5. Ajuste de área a irrigar

La superficie total requerida para el sistema de tratamiento de efluentes incluye tanto el área cultivada como las vías de acceso, tanques de almacenamiento, zonas de amortiguación, etc.

Para determinar la superficie requerida para irrigación puede utilizarse la siguiente ecuación (2.1):

$$(2.1) \quad Sup_{min}(Ha) = \frac{V_{tot} \left(\frac{m^3}{año} \right)}{L_{diseño} \left(\frac{mm}{año} \right)} * \left(\frac{Ham}{10m^3} \right)$$

Donde:

- o Sup_{min} : Superficie mínima
- o V_{tot} : Volumen total anual volcado de efluentes. Estimado en Sección 2.1.2 Funcionamiento General y Carga Anual.

o L_{Final} : Lámina Hidráulica Final de Diseño

Para el ejemplo tratado:

$$\text{Ej. (2.1)} \quad Sup_{min}(Ha) = \frac{4473 \frac{m^3}{año}}{180,1 \frac{mm}{año}} * \left(\frac{Ha \text{ mm}}{10 m^3} \right) = 2,48 Ha$$

2.1.6. Diseño Preliminar del Sistema de Riego

2.1.6.1. Manejo de Caudales

Deben estimarse los caudales de distintos orígenes para el manejo eficiente del sistema de tratamiento, así como los volúmenes a almacenar en el caso que fuese necesario. Para ello deben determinarse de forma mensual los siguientes ítems: Qriego: Se refiere al caudal continuo de riego necesario para mantener los cultivos en su máximo crecimiento. Obtenido al multiplicar las necesidades brutas mensuales por la superficie irrigada.

- Qef: Caudal de efluentes proveniente del sistema de tratamiento generado a partir del funcionamiento estimado del establecimiento.
- Δ Alm: Se refiere al balance de almacenamiento y es la relación obtenida de restar al Qefluente el Qriego.
- Vol Alm: Los volúmenes de almacenamiento de efluentes son necesarios cuando los Qefluentes son mayores a los Qriego, es decir cuando el Balance de Almacenamiento es positivo. Debe estimarse el volumen acumulado a partir de los meses estivales en donde se espera no exista almacenamiento o este sea mínimo.
- QSup: Se refiere al caudal suplementario con que debe contar el establecimiento para garantizar las necesidades hídricas de los cultivos. Se obtiene de restar a los Qriego el Qefluente y el Volumen Almacenado del periodo anterior. Debe tenerse en cuenta que siempre que existan efluentes almacenados debe priorizarse su uso frente al agua suplementaria.

Con la información anterior debe construirse y presentarse una tabla de manejo de caudales como la que sigue a continuación (Tabla 2.8).

Se incluye un modelo de presentación para el ejemplo que venía trabajándose. Nótese que los Q riego superan ampliamente a los Q efluentes disminuyendo las necesidades de almacenamiento pero requiriendo de mayores Q suplementarios. Esto se debe al vuelco de efluentes con elevada concentración de nitrógeno.

Mes	Q Riego (m3/mes)	Q Ef (m3/mes)	Δ Alm (m3/mes)	Vol Alm (m ³)	Q Sup (m3/mes)	Q Sup (l/s)
Ene	7.579	682	-6.897	0	6.897	2,58
Feb	5.343	616	-4.727	0	4.727	1,88
Mar	3.114	372	-2.742	0	2.742	1,02
Abr	2.235	360	-1.875	0	1.875	0,72
May	1.281	93	-1.188	0	1.188	0,44
Jun	0	90	90	90	0	0,00
Jul	0	93	93	183	0	0,00
Ago	2.009	93	-1.916	0	1.733	0,72
Sep	3.182	360	-2.822	0	2.822	1,09
Oct	4.523	372	-4.151	0	4.151	1,55
Nov	6.146	660	-5.486	0	5.486	2,12
Dic	7.275	682	-6.593	0	6.593	2,46
Total - Máximo	42.687	4.473	-38.214	183	6.897	2,58

Tabla 2.8: Manejo de Caudales

2.1.6.2. Fuente y calidad de agua extra necesaria

En función de la tabla de estimación de caudales aquellos establecimientos que requieran de caudales suplementarios para garantizar el correcto crecimiento de la superficie a implantar deberán dejar sentado el origen, cantidad y calidad de agua dulce disponible.

En los informes deberá estar, según el caso, la siguiente información:

- Origen del agua a utilizar y, en caso que corresponda, autorización de la autoridad correspondiente para su utilización y aprovechamiento
- Cantidad de agua disponible para uso suplementario y periodo de tiempo durante la cual puede utilizarse.
- Estudio de la calidad de agua para riego mediante una caracterización de al menos los siguientes parámetros: Conductividad Eléctrica, RAS, N total, P total, *Escherichia coli*.

Debe tenerse en cuenta que la utilización de este recurso es un suplemento para garantizar el correcto tratamiento de las aguas residuales en el suelo. Por este motivo el agua a utilizar debe ser de excelente calidad, de tal manera que no contribuya de forma significativa a la carga de nutrientes, sales o materia orgánica que ya es incorporada al sistema a través de las aguas residuales.

En el caso en que las aguas suplementarias a utilizar contengan elevados niveles de al menos uno de los parámetros mencionados anteriormente, estos deberán tenerse en cuenta a la hora de calcular las láminas hídricas de diseño y la superficie mínima a implantar.

2.1.6.3. Sistemas de Almacenamiento

En aquellos establecimientos que demanden la utilización de reservorios estacionales para almacenar efluentes, para su aprobación deberán presentar en los proyectos al menos la siguiente información:

- Tipo de Sistema a Emplear: Lagunas, tanques, reservorios, etc.
- Volumen Máximo a Almacenar: Deberá presentarse una tabla que refleje el balance hídrico entre la generación de efluentes y su utilización para riego en función de la información presentada en la sección 2.1.6.1 Manejo de Caudales. En función de sus características constructivas y la escala del proyecto deberán tenerse en cuenta la evaporación y precipitación como factores de diseño.
- Dimensiones del Deposito: Profundidad máxima y media, área ocupada, disposición espacial, ángulo de talud, etc.
- Carga Orgánica Diaria por Superficie de Deposito (g DBO/m²/día). Media del periodo de acumulación de efluentes y detalle mensual si existiesen variaciones considerables en la concentración de DBO durante este.
- Características Constructivas: Materiales, impermeabilización, tuberías o canales de entrada de efluentes, ubicación de la salida (tipo, profundidad), etc.
- Contingencias: Metodología para transporte de efluentes almacenados a sistema de tratamiento. Características constructivas. Pileta de equalización si fuese necesario.
- Plano Espacial: Ubicación del sistema dentro del establecimiento. Punto de entrada y salida de efluentes. Sistema de Contingencias. Referencias al sistema de tratamiento y área cultivada.

Se debe tener en cuenta que la carga orgánica diaria por superficie de deposito no podrá superar el valor de 4 g DBO/m²/día. Este parámetro, en conjunto con el volumen máximo de almacenamiento y la concentración de DBO en el efluente, determina la profundidad máxima que pueden tener los sistemas de almacenamiento para evitar la generación de malos olores.

2.1.7. Diseño Detallado del Sistema de Riego

Se deberá presentar la siguiente información que permita comprobar el diseño y operación eficiente del sistema de riego. Vale aclarar que esta información tiene carácter general, debiendo mencionarse aquellos aspectos característicos de cada sistema de riego en particular.

- **Método de Riego.** Características y eficiencia esperada.
- **Área a Irrigar.** Superficie de unidades y subunidades de riego, cultivos a implantar, croquis.

Riego por Gravedad

- **Lámina de Reposición.** Calculo en función del tipo de suelo y tolerancia de cultivos.
- **Distribución.** Tuberías o canales de distribución. Características constructivas. Aforo. Ubicación en croquis. Pérdidas estimadas.
- **Operación de Riego.** Caudales de riego con efluentes y/o agua suplementaria. Tiempos de riego para efluentes y/o agua suplementaria para cada unidad y subunidad.
- **Intervalos de Riego.** Intervalos de riego mensuales. Complementación entre riego con efluentes y riego con agua suplementaria.
- **Comprobación.** Comparación entre lámina aplicada e infiltración del suelo. Tiempo de infiltración. Tiempos e intervalos entre periodos de secado.
- **Mantenimiento.** Mantenimiento programados. Personal encargado del riego.

Riego Localizado

- **Cabezal de Riego.** Filtros: tipos, eficiencia, dimensionamiento. Bombas. Equipos de fertirrigación u otros. Caudalímetros. Piletas de equalización.
- **Goteros.** Tipos de goteros, características.
- **Diseño.** Numero de emisores por planta. Caudales de goteo. Dosis de riego. Verificación según infiltración del suelo.
- **Operación.** Tiempos de riego. Intervalos de riego.
- **Diseño hidráulico.** Diámetro cañerías. Presión de trabajo. Bombas. Croquis del sistema de riego.
- **Caudales suplementarios.** Equalización con efluentes ó forma de administración. Complementación entre riego con efluentes y riego con agua suplementaria.

- **Mantenimiento.** Limpieza de equipos de filtrado. Limpieza y/o reposición de goteros. Frecuencia. Encargado de riego y/o mantenimiento.

En la presentación de la información se debe tener en cuenta que el objetivo es verificar la eficiencia del sistema y poder calcular la carga de nutrientes u otros componentes aplicada a cada unidad de riego.

Un aspecto particular a considerar en la operación es la manera de complementar el riego con efluentes y el riego suplementario cuando se requiere de este último. Los proyectistas podrán optar por los sistemas que crean convenientes para complementar ambos riegos. Deberán presentar la información que permita comprobar que las láminas de efluentes aplicadas a cada unidad de riego correspondan a las láminas de diseño.

2.1.8. Red Freatimétrica

Se mencionan algunos aspectos mínimos que deberían considerarse en el diseño e instalación de la Red Freatimétrica. Esta información deberá complementarse por las autoridades con competencia en el tema.

Los aspectos a abordar son:

- Instalación de al menos tres freatímetros para evaluar la dinámica freática. Establecer con esto los puntos de monitoreo en función de aquellos que sean representativos del funcionamiento del sistema.
- Profundidad mínima de 4,50 m.
- Georeferenciación y acotado.

2.1.9. Plan de monitoreo

El monitoreo del sistema de disposición final de efluentes permite su fiscalización por parte de las autoridades correspondientes. Debe ser utilizado también por los responsables a cargo de los establecimientos como un instrumento de toma de información para mejorar las decisiones respecto a la operación y manejo de los sistemas.

Deben realizarse monitoreos sobre diversos aspectos del sistema y con diferente frecuencia. Se deberá recopilar esta información de forma sistemática para ser presentada en los momentos que la Subsecretaría de Ambiente lo disponga.

Las tablas que siguen a continuación contienen el detalle de todos los aspectos a monitorear y su frecuencia. En función de las características de cada establecimiento, su tamaño, generación de efluentes, ubicación u otros aspectos las autoridades correspondientes podrán solicitar la inclusión de otros parámetros y determinar diferentes frecuencias para su monitoreo.

Los parámetros a monitorear respecto al riego y almacenamiento siguen a continuación (Tabla 2.9)

Riego y Almacenamiento			
Grupo	Ítem	Frecuencia de Monitoreo	Observaciones
Efluentes	Caudales de riego con efluentes	Mensual	Estacion de aforo previo ingreso a sistema de riego.
Agua Suplementaria	Caudales de riego con agua suplementaria	Mensual	Estacion de aforo previo ingreso a sistema de riego.
Láminas de Riego	Láminas de riego aplicadas a cada unidad y subunidad de riego	Mensual	En función de Caudales de Riego, Tiempos de Riego y Superficie
Almacenamiento	Nivel y volumen del deposito almacenamiento	Mensual	Durante periodo de almacenamiento.

Tabla 2.9: Monitoreo del Riego y Almacenamiento

El monitoreo de efluentes debe realizarse sobre un punto representativo de los flujos utilizados para riego. Deberá tenerse en consideración la metodología de toma de muestras correspondientes para preservar su calidad hasta el sitio de análisis.

Debe tenerse en cuenta que, en el monitoreo de efluentes, existen valores máximos propuestos en este informe para garantizar el correcto funcionamiento del sistema de disposición final y minimizar los riesgos sanitarios. La superación de dichos máximos puede ser momentánea y puntual por la ocurrencia de situaciones particulares. Se debe corregir rápidamente para evitar afectaciones sobre el ambiente o la salud.

Los parámetros a monitorear, sus concentraciones máximas y la frecuencia con que deben monitorearse se detalla en la Tabla 1.1: Estándares de Calidad de Efluentes para Riego en la sección 1.2. Estándares de Calidad Propuestos

El monitoreo de suelos deberá realizarse sobre cada unidad de riego. La metodología consiste en tomar muestras compuestas de al menos tres sectores diferentes de la unidad de riego. Los parámetros a monitorear se muestran a continuación (Tabla 2.10)

Suelo			
Grupo	Ítem	Frecuencia de Monitoreo	Observaciones
	pH	Anual	
	EC	Anual	
Físico - Químicos	Materia Orgánica	Anual	
	CIC	Anual	
	RAS	Anual	
	N	Anual	
Nutrientes	P	Anual	
	K	Anual	
	Na	Anual	
Cationes	Ca	Anual	
	Mg	Anual	
Metales	Según origen y características de efluentes (*)	Anual	(*) Solo para establecimientos del Grupo B

Tabla 2.10: Monitoreo del Suelo

El monitoreo de las aguas freáticas proporciona indicadores fundamentales para la evolución de la eficacia del sistema. Debe realizarse entonces sobre puntos que representen este funcionamiento.

Los freáticos a muestrear deben ser aquellos que por su ubicación reciban el aporte de aguas abajo de los sitios de riego. La determinación de este punto debe ser realizada por profesionales en función del estudio de la dinámica freática.

Los parámetros a monitorear propuestos siguen a continuación (Tabla 2.11).

Agua Freática			
Grupo	Ítem	Frecuencia de Monitoreo	Observaciones
Profundidad	Nivel Freático (m)	Trimestral	
	pH	Trimestral	
	EC	Trimestral	
	Nitratos	Trimestral	
	Nitritos	Trimestral	
Calidad	N Total	Trimestral	
	P Total	Trimestral	
	DBO5	Trimestral	
	DQO	Trimestral	
	<i>E. Coli.</i>	Trimestral	
Metales	Según origen y características de efluentes (*)	Trimestral	(*) Solo para establecimientos del Grupo B

Tabla 2.11: Monitoreo del Agua Freática

Se deberá realizar un seguimiento sobre las labores realizadas en los cultivos implantados. Es importante sistematizar esta información para presentarla en los momentos que sea requerida. Se deben monitorear los parámetros mencionados a continuación (Tabla 2.12).

Cultivos			
Grupo	Ítem	Frecuencia de Monitoreo	Observaciones
Cultivos y Manejo Cronológico	Cultivos	Anual	Especie, variedades, cultivares. Cuadro y superficie

	Fechas de implantación, labores culturales, cosecha, fertilizaciones, manejo sanitarios, etc	Anual	Especial detalle en manejo nutricional. Productos aplicados, dosis, fecha.
	Rendimiento/Productividad (Kg/Ha Año) (m3/ha)	Anual	Según corresponda a cultivos forrajeros o forestales
Cosecha	Forma de Aprovechamiento	Anual	
	Tiempo entre cosecha y ultimo riego con efluentes	Anual	

Tabla 2.12: Monitoreo de Cultivos

2.1.10. Plano del Establecimiento

Deberá presentarse un plano georeferenciado del establecimiento en donde queden establecidos:

- Límites del establecimientos. Ubicación del sistema de tratamiento. Ubicación del sistema de almacenamiento.
- Sistema de Riego. Canales, tuberías, etc. Equipos de Bombeo. Cabezal de riego.
- Superficie a irrigar. Unidades y subunidades de riego. Cultivos implantados o proyectados.
- Ubicación de estudios de suelo. Ubicación y cota de freáticos.

2.2. Sistemas de Tratamiento con Reúso de efluentes

Esta categoría incluye establecimientos que cuentan con sistemas de tratamientos de efluentes cloacales y/o industriales y ya utilizan esos efluentes para riego de especies vegetales pero que no tienen verificada la eficacia del sistema de disposición final.

En estos establecimientos el objetivo de la presentación debe ser comprobar que los actuales sistemas se ajustan a la normativa vigente y

logran dar disposición final a los efluentes mediante riego con riesgos mínimos sobre el ambiente y la salud.

La metodología propuesta para estos establecimientos se sustenta en las mismas bases que en aquellos proyectados. Se hará mención específica sobre aquellos aspectos diferenciales que deben considerarse para la verificación.

Los proyectistas deberán seguir la metodología propuesta para comprobar que la lámina de efluentes utilizada y el área cultivada se adaptan a las recomendaciones de esta propuesta. Caso contrario deberán tomar las medidas correctivas correspondientes.

Se deberá presentar la siguiente información:

2.2.1. Estudio de Sitio y Suelo

Deberá presentarse una descripción del sitio en donde está emplazado el sistema de riego. La información a presentar sigue a continuación (Tabla 2.13).

Características	Observación
Pendiente	%
Relieve y Topografía	Descripción del sitio.
Profundidad del Suelo	m
Profundidad a la Napa	m
Hidrogeología	Descripción del sitio. Presencia de capas impermeables, discontinuidades geológicas, etc.
Otras Limitaciones	Descripción del sitio. Ocurrencia de anegamientos temporales, presencia de suelos pesados o poco estructurados, afloramientos rocosos, etc.

Tabla 2.13: Estudio de Sitio

Las características de sitio deberán ajustarse a las recomendaciones propuestas por esta normativa en la Sección 1.8.1. Requerimientos de Sitio para la aprobación de los sistemas de disposición final.

En aquellos establecimientos en donde se supere alguno de los límites establecidos, el proyectista deberá: a) justificar frente a las autoridades correspondientes que esto no representa un aumento del riesgo ambiental o

sanitario; b) proponer medidas correctivas que permitan minimizar estos riegos bajo las actuales condiciones.

Deberá presentarse un estudio de suelos que incluya los siguientes parámetros.

- Profundidad Efectiva.
- Profundidad Freática. Presencia de moteados u otros indicadores de variación del nivel freático.
- Descripción del Perfil Litológico
- Propiedades Físicas: Textura, estructura, porcentaje de grava. Sobre cada horizonte.
- Propiedades Fisico-químicas: pH, conductividad eléctrica (CE), capacidad de intercambio catiónico (CIC), materia orgánica, relación de absorción de sodio (RAS).
- Aniones y Cationes: Nitrógeno Total, P Total, NO₃, PO₄, K, Ca, Mg, Na, HCO₃, Boro
- Propiedades Hidráulicas: Tasa de Infiltración, Porosidad Efectiva
- Metales y otros Contaminantes: Solo para el **Grupo B**. Cobre, níquel, plomo, zinc y cadmio. Pueden exigirse otros componentes de acuerdo a la naturaleza del efluente según requiera la Subsecretaría de Ambiente.

Para sitios de riego medianos a grandes con condiciones uniformes de suelo debe realizarse una perforación cada 2 - 4 Ha. En sistemas de riego pequeños (< 5 Ha) deberán realizarse como mínimo tres perforaciones distribuidas uniformemente. Los sitios de muestreo deberán georeferenciarse y ubicarse posteriormente en el plano del establecimiento.

Deberá tenerse en cuenta que el estudio de suelos tiene como fin establecer la condición inicial del sistema para evaluar su factibilidad y posteriormente monitorear su funcionamiento. Por esta razón las determinaciones deben estar realizadas y firmadas por profesionales competentes en la materia y deben ser analizadas de forma crítica desde una perspectiva ambiental - agronómica.

2.2.2. Funcionamiento General y Carga Anual

2.2.2.1. Caudales, Concentraciones y Carga Anual

Los interesados deberán brindar en el marco de este informe un detalle de las condiciones de funcionamiento del sistema de tratamiento. Se deberán tener en cuenta al menos dos situaciones de funcionamiento:

- **Funcionamiento mínimo o de mantenimiento:** Se entiende esta situación como aquella en donde las industrias y establecimientos agropecuarios no estén en producción; o bien las empresas de servicios, urbanizaciones, loteos o proyectos turísticos no estén en desarrollo pleno de sus actividades, pero para ambos casos las tareas realizadas demanden como mínimo tareas de mantenimiento que generen efluentes cloacales y/o industriales y deban ser tratados por su correspondiente sistema de tratamiento.
- **Funcionamiento normal:** Se entiende esta situación a aquella en donde los establecimientos contemplados en la normativa estén en desarrollo pleno de las actividades para las que fueron planificadas.

Quedará a criterio de la Subsecretaria de Ambiente y del técnico responsable exigir otras condiciones de utilización en función del tipo de establecimiento y la planificación realizada.

2.2.2.2. Caracterización de los Efluentes

Para cada una de las situaciones planteadas se deberá presentar:

- Una descripción del origen de los efluentes generados en función de las actividades y procesos realizados, de las unidades en actividad, etc.
- Una estimación del periodo en esa condición de funcionamiento.
- Los caudales medios y máximos de salida del sistema de tratamiento de efluentes.
- Una caracterización fisicoquímica y microbiológica de los efluentes generados por el sistema de tratamiento para los parámetros mencionados en la **Tabla 1.1: Estándares de Calidad de Efluentes para Riego**

Se propone la presentación en una tabla como la que sigue (Tabla 2.14). Se muestra un ejemplo para un establecimiento matarife.

Situación	Origen de los Efluentes	Periodo de Funcionamiento (meses)	Q medio (m ³ /día)	Q máximo o picos (m ³ /día)
Mantenimiento				
Normal				
Ejemplo				
<i>Mantenimiento</i>	<i>Cloacales</i>	<i>4</i>	<i>3</i>	<i>4</i>
<i>Funcionamiento 50% Capacidad</i>	<i>Cloacales + Faena</i>	<i>4</i>	<i>12</i>	<i>15</i>
<i>Funcionamiento Máximo</i>	<i>Cloacales + Faena</i>	<i>4</i>	<i>22</i>	<i>25</i>

Tabla 2.14: Condiciones de Funcionamiento

Para la caracterización fisicoquímica y bacteriológica **de cada situación de funcionamiento** deben adjuntarse los análisis correspondientes, los protocolos mediante los cuales fueron realizados, la fecha y los profesionales responsables de los mismos.

En la operación normal bajo ningún aspecto pueden superarse las concentraciones límites establecidas por esta normativa. Pueden tolerarse valores fuera de rango de forma eventual debido a fallas en procesos industriales o sistemas de tratamiento, sin embargo estas deben corregirse rápidamente ya que comprometen la eficiencia del tratamiento y generan potenciales riesgos sanitarios y ambientales.

2.2.2.3. Funcionamiento General de Diseño

Teniendo en cuenta estas situaciones, debe presentarse un diagrama que contemple el funcionamiento anual para un año tipo en plena producción que servirá como base para la verificación del sistema de disposición final de efluentes. En el mismo se debe declarar a nivel mensual la situación de funcionamiento normal, caudales medios, volúmenes totales para ese periodo, concentración y carga de nitrógeno total y fósforo en el agua de riego. Se propone la presentación en tablas como la que sigue (Tabla 2.15).

Se prevé en función de la naturaleza de los establecimientos y el origen de los efluentes generados exigir la concentración y carga anual para otros componentes según lo requiera la Subsecretaría de Ambiente.

Se muestra como ejemplo la caracterización de los efluentes del establecimiento matarife antes mencionado.

Mes	Situación de Funcionamiento Proyectada	Q medio (m ³ /día)	Volumen (m ³)	Conc. de N (mg/l)	Carga de N (Kg)	Conc. de P (mg/l)	Carga de P (Kg)
Ene	Fun. Máximo	22	682	190	129,6	10	6,8
Feb	Fun. Máximo	22	616	190	117,0	10	6,2
Mar	Fun. 50%	12	372	190	70,7	10	3,7
Abr	Fun. 50%	12	360	190	68,4	10	3,6
May	Mant.	3	93	55	5,1	1	0,1
Jun	Mant.	3	90	55	5,0	1	0,1
Jul	Mant.	3	93	55	5,1	1	0,1
Ago	Mant.	3	93	55	5,1	1	0,1
Sep	Fun. 50%	12	360	190	68,4	10	3,6
Oct	Fun. 50%	12	372	190	70,7	10	3,7
Nov	Fun. Máximo	22	660	190	125,4	10	6,6
Dic	Fun. Máximo	22	682	190	129,6	10	6,8
Total	-	12,3	4473	-	800	-	41,4

Tabla 2.15: Funcionamiento General de Diseño

2.2.3. Descripción del sistema de riego actual

Se deberá presentar en detalle una descripción del sistema de riego actual para evaluar su pertinencia para estos sistemas de disposición final de efluentes. A continuación se detalla un listado de los aspectos a incluir por los proyectistas en los informes correspondientes. Estos últimos deberán tener en cuenta que el objetivo es evaluar aspectos que hacen a la eficiencia y seguridad de los sistemas de riego, presentando esta información y otra que consideren de interés bajo ese contexto.

- **Método de riego.** Método de riego utilizado. Características.
- **Superficie implantada.** Unidades y subunidades de riego. Especies implantadas en cada una de ellas. Superficies.
- **Láminas y Operación.** Láminas de riego aplicadas mensualmente. Láminas de efluentes anuales y mensuales totales y por unidades de riego. Características de diseño. Caudales de riego. Tiempos de riego. Proporción de efluentes en el riego. Intervalos de riego.
- **Estado actual y Mantenimiento.** Estado actual del sistema de riego. Sistema de transporte y conducción, condiciones actuales. Encargado de riego y mantenimiento.

2.2.4. Planificación productiva

La siguiente información a presentar tiene el objetivo de demostrar la superficie irrigada sustenta cultivos con alta productividad y absorción de nutrientes. Se deberá presentar:

- **Especies implantadas o a implantar.** Detalles de variedades o cultivares, características. Criterios de selección en función de los objetivos del sistema de disposición final de efluentes.
- **Implantación.** Método de implantación. Fecha. Densidad. Labranza primaria y/o secundaria. Herramientas y profundidad.
- **Labores culturales.** Momento y tarea. Objetivos.
- **Manejo nutricional.** Balance y planificación. Productos. Dosis y fecha.
- **Manejo Sanitario.** Principales plagas y enfermedades de prevalencia en la región. Momentos de aparición. Monitoreo. Herramientas de control.
- **Cosecha.** Duración del ciclo de cultivo. Rendimiento estimado. Momento y forma de aprovechamiento. Extracción de N y P estimada anual y por ciclo de cultivo.
- **Escalamiento.** Superficie implantada en función de efluentes generados. Ajuste de lámina según estados inmaduros o senescencia.

Los proyectistas podrán brindar detalles sobre otros aspectos que consideren de interés y justifiquen la elección del cultivo y su manejo. La Subsecretaría de Ambiente en función de las características particulares de cada región o establecimiento podrá exigir la presentación de otros aspectos y detalles.

2.2.5. Estimación de la carga hidráulica de diseño

El sistema de tratamiento propuesto se define como Tratamiento Natural por Infiltración Lenta (Crites, 2014)(WEF, 1990). Para el diseño de los sistemas de riego y el ajuste de la superficie a irrigar este método se basa en la definición de un Parámetro Limitativo de Diseño (PLD) el cual establece la lámina de efluentes máxima que puede aplicarse.

En establecimientos que actualmente utilizan aguas residuales para riego el cálculo de la carga hidráulica de diseño tiene el objetivo de **verificar** si el sistema es capaz de tratar las láminas de efluentes actualmente aplicadas. La definición de esta última permite mejorar la operación actual de los sistemas de riego y, si fuese necesario, ajustar el área a irrigar para tratar de forma correcta la totalidad de efluentes generados.

Se utiliza el mismo ejemplo de cálculo que en la Sección 2.2., comprendido por un establecimiento ubicado en Loncopue que utiliza riego por goteo para una forestación de alta densidad. Se estimaron todas las Láminas de Diseño para este ejemplo.

2.2.5.1. Láminas Hidráulicas Parciales

Deben determinarse por establecimiento una serie de láminas hidráulicas de diseño basadas en parámetros limitativos. Dichos parámetros permiten estimar la lámina hidráulica anual y mensual de efluentes que puede aplicarse como máximo al suelo para que cumpla con la función de tratar las aguas residuales y satisfacer los requerimientos de los cultivos, utilizándose luego este valor para el ajuste de la superficie a irrigar. El cálculo de cada uno de ellos sigue a continuación:

Lámina Hidráulica basada en los Requerimientos de Riego (L_{Riego})

La Lámina Hidráulica basada en los Requerimientos de Riego (L_{Riego}) es igual a las necesidades brutas de riego (N_{Brutas}). Su estimación se debe hacer a partir de la evapotranspiración de referencia (ET_0) del sitio, se ajusta luego en función del tipo de cultivo, su disposición espacial y la eficiencia de aplicación del método de riego elegido.

Se propone presentar los datos en una tabla como la que sigue (Tabla 2.16). Nótese que en el ejemplo no se utiliza la P_p para la estimación de las N_{net} ya que es un ambiente árido a semiárido.

Mes	ETo (mm/mes)	Kc	Etc (mm/mes)	Pp (mm/mes)	Nnet (mm/mes)	NBrutas (mm/mes)
Ene	200,9	0,80	160,7	10,2	225,0	305,6
Feb	161,8	0,70	113,3	11,4	158,6	215,4
Mar	110,1	0,60	66,0	16,4	92,4	125,6
Abr	94,8	0,50	47,4	30,3	66,4	90,1
May	67,9	0,40	27,2	49,4	38,0	51,6
Jun	51,9	0,00	0,0	73,8	0,0	0,0
Jul	59,8	0,00	0,0	39,0	0,0	0,0
Ago	71,0	0,60	42,6	53,7	59,6	81,0
Sep	103,8	0,65	67,5	23,9	94,5	128,3
Oct	137,0	0,70	95,9	11,7	134,3	182,4
Nov	162,9	0,80	130,3	7,4	182,4	247,8
Dic	192,8	0,80	154,3	9,6	216,0	293,3
Total	1414,7	-	905,1	336,8	1267,2	1721,3
Coefficiente de Localización					1,4	
Eficiencia de Riego					90 %	
Uniformidad de Riego					90 %	
1 - Requerimientos de Lavado					82 %	

Tabla 2.16: Requerimientos de Riego

Deben tenerse en cuenta algunas consideraciones:

- I. Evapotranspiración de referencia (ETo): Debe precisarse el sitio para el cual fue determinado ese dato. Presentar además la cita bibliográfica de donde fue obtenido.
- II. Coeficiente de Cultivo (Kc). Debe presentarse la cita bibliográfica de donde fue obtenido.
- III. Precipitación (Pp). Debe precisarse el sitio para el cual fue determinado ese dato. Presentar además la cita bibliográfica de donde fue obtenido.
- IV. Necesidades netas (N_{net}). Se calculan restando a la evapotranspiración del cultivo la precipitación para cada periodo. En zonas áridas y semiáridas la precipitación no se utiliza como factor de diseño. Para riego localizado debe afectarse su valor por un coeficiente de localización.

Deberán tenerse en cuenta para el cálculo de las necesidades totales las particularidades de cada método de riego y su cultivo asociado como son el factor de localización, coeficiente de uniformidad, requerimientos de lavado y eficiencia de aplicación. Para cada uno de estos factores, en el caso que el sistema lo requiera, se debe describir su proceso de cálculo o las bases teóricas en que se sustentan.

El resultado final de esta estimación es la determinación de las necesidades brutas de riego (N_{Brutas}) las cuales son iguales a la Lámina Hidráulica basada en los Requerimientos de Riego (L_{riego}). Este valor es indicativo de la máxima cantidad de agua que puede aportarse al cultivo para las condiciones en las cuales se encuentra, de modo tal que su productividad sea máxima y se minimicen las pérdidas por percolación.

Lámina Hidráulica basada en la Carga de Nitrógeno (L_N)

Debe estimarse la Lámina Hidráulica basada en la Carga de Nitrógeno (L_N) a nivel mensual mediante la utilización de la expresión (1.8) mencionada en la sección 1.4.2 Balance de Nitrógeno.

(1.8)

$$L_N \left(\frac{mm}{mes} \right) = \frac{\left(N_{\text{Brutas}} \left(\frac{mm}{mes} \right) + Pp \left(\frac{mm}{mes} \right) - ETr \left(\frac{mm}{mes} \right) \right) * C_{N\text{Per}} \left(\frac{mg}{l} \right) + U \left(\frac{Kg}{Ha\text{mes}} \right) * 100 \frac{mg\text{Ha}}{Kg\text{m}^2}}{C_{N\text{Ef}} \left(\frac{mg}{l} \right) * (1 - f)}$$

Donde:

- o L_N : Lámina Hidráulica basada en la Carga de Nitrógeno. Representa la máxima lámina de efluentes que puede aplicarse al mes para que el sistema cumpla con la remoción de nitrógeno.
- o N_{Brutas} : Necesidades Brutas de Riego. Obtenidas a partir de los requerimientos de riego para el establecimiento.
- o Pp : Precipitación. Si fue utilizada como factor de diseño de los requerimientos de riego no utilizar. En zonas áridas y semiáridas donde no se utilizan para el cálculo de los requerimientos de riego deben tenerse en cuenta.
- o ETr : Evapotranspiración real del cultivo. Emplear valores calculados en requerimientos de riego.
- o $C_{N\text{Per}}$: Concentración de nitrógeno en el agua de percolación. Se recomienda utilizar valores menores a 5 mg/l.
- o U : Extracción de nitrógeno mensual del cultivo. Si no se cuenta con este dato ver método de cálculo.

- o $C_{N\text{ Ef}}$: Concentración de nitrógeno en el agua efluente utilizada para riego.
- o f : Fracción del nitrógeno que se pierde por desnitrificación o volatilización. Se recomienda utilizar valores entre 0,15 - 0,25.

Los valores deben volcarse y presentarse en una tabla como la que sigue (Tabla 2.17). También deben presentarse los valores definidos de $C_{N\text{ Per}}$ y f y su justificación.

Mes	N_{Brutas} (mm)	U_N (Kg / Ha)	C_{N Ef} (mg/l)	L_N (mm)
Ene	305,6	27,5	190	24,8
Feb	215,4	19,4	190	17,6
Mar	125,6	11,3	190	10,6
Abr	90,1	8,1	190	8,3
May	51,6	4,7	55	20,2
Jun	0,0	0,0	55	8,9
Jul	0,0	0,0	55	4,7
Ago	81,0	7,3	55	28,8
Sep	128,3	11,6	190	11,1
Oct	182,4	16,4	190	15,0
Nov	247,8	22,3	190	20,0
Dic	293,3	26,4	190	23,8
Total	1721,3	155,0	-	193,8
	C_{N Per} (mg/l)		5	
	f		0,25	

Tabla 2.17: Lámina Hidráulica basada en la Carga de Nitrógeno (LN)

Lámina Hidráulica basada en la Carga de Fósforo (L_P)

Debe estimarse la Lámina Hidráulica basada en la Carga de Fósforo (L_P) a nivel mensual mediante la utilización de la expresión (1.11) mencionada en la sección 1.4.2 Balance de Nitrógeno.

(1.11)

$$L_p \left(\frac{mm}{mes} \right) = \frac{\left(N_{Brutas} \left(\frac{mm}{mes} \right) + Pp \left(\frac{mm}{mes} \right) - ETr \left(\frac{mm}{mes} \right) \right) * C_{P_{Per}} \left(\frac{mg}{l} \right) + U \left(\frac{Kg}{Ha\ mes} \right) * 100 \frac{mg\ Ha}{Kg\ m^2}}{C_{PEf} \left(\frac{mg}{l} \right)}$$

Donde:

- o L_p : Lámina Hidráulica basada en la Carga de Fósforo. Representa la máxima lámina de efluentes que puede aplicarse al mes para que el sistema cumpla con la remoción de fósforo.
- o N_{Brutas} : Necesidades Brutas de Riego. Obtenidas a partir de los requerimientos de riego para el establecimiento.
- o Pp : Precipitación. Si fue utilizada como factor de diseño de los requerimientos de riego no utilizar. En zonas áridas y semiáridas donde no se utilizan para el cálculo de los requerimientos de riego deben tenerse en cuenta.
- o ETr : Evapotranspiración real del cultivo. Emplear valores calculados en requerimientos de riego.
- o $C_{P_{Per}}$: Concentración de fósforo en el agua de percolación. Se recomienda utilizar valores menores a 0,5 mg/l.
- o U : Extracción de fósforo mensual del cultivo. Si no se cuenta con este dato ver método de cálculo.
- o C_{PEf} : Concentración de fósforo en el agua efluente utilizada para riego.

Los valores deben volcarse y presentarse en una tabla como la que sigue (Tabla 2.18). Debe presentarse también el valor de $C_{P_{Per}}$ utilizado y su justificación.

Mes	N_{Brutas} (mm)	U_P (Kg / Ha)	$C_{P \text{ Ef}}$ (mg/l)	L_P (mm)
Ene	305,6	7,1	10	78,8
Feb	215,4	5,0	10	55,7
Mar	125,6	2,9	10	33,0
Abr	90,1	2,1	10	24,6
May	51,6	1,2	1	157,0
Jun	0,0	0,0	1	36,9
Jul	0,0	0,0	1	19,5
Ago	81,0	1,9	1	234,3
Sep	128,3	3,0	10	34,1
Oct	182,4	4,2	10	47,3
Nov	247,8	5,8	10	63,8
Dic	293,3	6,8	10	75,6
Total	1721,3	40,0		860,5
	$C_{P \text{ Per}}$ (mg/l)		0,5	

Tabla 2.18: Lámina Hidráulica basada en la Carga de Fósforo (LP)

2.2.5.2. Lámina Hidráulica Final de Diseño

Una vez calculadas todas las láminas hidráulicas parciales para cada uno de los parámetros limitativos de diseño (L_{Riego} , L_N y L_P) las mismas deben utilizarse para estimar la Lámina Hidráulica Final de Diseño.

La selección de la Lámina Hidráulica Final de Diseño (L_{Final}) se realiza a nivel mensual utilizándose la lámina de menor valor entre las calculadas. La Lámina Hidráulica Final de Diseño anual será la sumatoria de las L_{Final} mensuales. La tabla que sigue a continuación (Tabla 2.19) debe estar presente en el informe.

Para el ejemplo de calculo desarrollado en esta sección la Lámina Final de Diseño esta determinada por la L_N durante la mayor parte del tiempo, a excepción de los meses de junio y julio en donde esta determinada por la L_{riego} . Nótese en negrita los valores de las láminas parciales utilizadas en el diseño final.

Mes	L_{Riego} (mm)	L_N (mm)	L_P (mm)	L_{Final} (mm)
Ene	305,6	24,8	78,8	24,8
Feb	215,4	17,6	55,7	17,6
Mar	125,6	10,6	33,0	10,6
Abr	90,1	8,3	24,6	8,3
May	51,6	20,2	157,0	20,2
Jun	0,0	8,9	36,9	0,0
Jul	0,0	4,7	19,5	0,0
Ago	81,0	28,8	234,3	28,8
Sep	128,3	11,1	34,1	11,1
Oct	182,4	15,0	47,3	15,0
Nov	247,8	20,0	63,8	20,0
Dic	293,3	23,8	75,6	23,8
Total	1721,3	193,8	860,5	180,1

Tabla 2.19: Lámina Hidráulica Final de Diseño

2.2.6. Verificación del Sistema

Las Láminas Hidráulicas Finales de Diseño deben compararse con las láminas de efluentes que actualmente se aplican sobre la superficie irrigada. A partir de esta comparación puede evaluarse si las láminas actuales se ajustan a la normativa propuesta para dar tratamiento a los efluentes en el suelo.

Comparación de Láminas	Condición
L_{Final Diseño} > L_{Actual}	Funcionamiento Correcto
L_{Final Diseño} < L_{Actual}	Aplicación excesiva de Efluentes. Requiere ajustes.

Tabla 2.20: Verificación de Láminas Aplicadas

La comparación debe comenzar con las láminas anuales y seguir luego por las láminas mensuales. Se propone la utilización del siguiente diagrama (Figura 2.1) para realizar el procedimiento y, si fuese necesario, trabajar sobre los ajustes correspondientes.

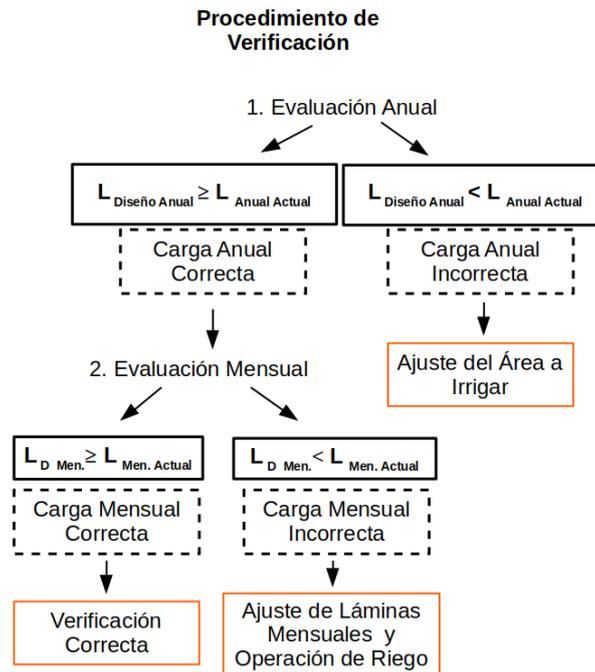


Figura 2.1: Procedimiento de Verificación

Donde $L_{\text{Diseño Anual}}$ corresponde a la Lámina de Diseño Anual, $L_{\text{Anual Actual}}$ corresponde a la lámina anual actualmente aplicada de efluentes, $L_{\text{D Men}}$ corresponde a las Láminas de Diseño Mensuales y $L_{\text{Men. Actual}}$ son las láminas mensuales actualmente aplicadas.

Si la lámina de efluentes aplicada actualmente supera la lámina anual de diseño es necesario aumentar la superficie irrigada. Para la misma cantidad de efluente se necesita mas superficie a irrigar para garantizar la aplicación de las láminas correctas tal que el suelo pueda darles tratamiento.

Si las láminas anuales aplicadas son menores o iguales a las de diseño hay que corroborar que su distribución temporal durante el año se corresponda con lo que el sistema suelo - planta es capaz de absorber y tratar.

Si alguna lámina mensual aplicada superase a la de diseño correspondiente a ese mes, se deben ajustar las láminas y operación del riego a las nuevas láminas máximas calculadas. Si las láminas mensuales fueran siempre menores a las de diseño pueden continuarse aplicando al suelo.

2.2.7. Ajuste de área a irrigar

Si la Lámina de Diseño Anual es menor a la lámina de efluentes aplicada actualmente, debe aumentarse el área irrigada para garantizar la eficiencia del tratamiento.

Para calcular la superficie mínima a irrigar debe usarse la expresión (2.1) mencionada en la sección 2.1.5 Ajuste del área a irrigar.

$$(2.1) \quad Sup_{min}(Ha) = \frac{V_{tot} \left(\frac{m^3}{año} \right)}{L_{diseño} \left(\frac{mm}{año} \right)} * \left(\frac{Hamm}{10m^3} \right)$$

Donde:

- o Sup_{min} : Superficie mínima
- o V_{tot} : Volumen total anual volcado de efluentes. Estimado en Sección 2.2.2 Funcionamiento General y Carga Anual
- o L_{Final} : Lámina Hidráulica Final de Diseño

Se deberá garantizar la superficie mínima a partir de incorporar nuevas unidades de riego. La nueva área a irrigar deberá cumplir las características de sitio mencionadas con anterioridad, y sobre ella se deberán determinar las condiciones iniciales mencionadas en la Sección 2.2.1.

2.2.8. Diseño Preliminar del Sistema de Riego

2.2.8.1. Manejo de Caudales

Deben informarse los caudales de distintos orígenes para el manejo eficiente del sistema de tratamiento, así como los volúmenes a almacenar en el caso que fuese necesario.

Este análisis brinda información importante tanto para los proyectistas encargados del diseño u operación del sistema de riego como para las autoridades encargadas de su fiscalización.

Deben determinarse de forma mensual los siguientes ítems:

- Qriego: Se refiere al caudal continuo de riego necesario para mantener los cultivos en su máximo crecimiento. Obtenido al multiplicar las necesidades brutas mensuales por la superficie irrigada.
- Qef: Caudal de efluentes proveniente del sistema de tratamiento generado a partir del funcionamiento estimado del establecimiento.
- Δ Alm: Se refiere al balance de almacenamiento y es la relación obtenida de restar al Qefluente el Qriego.
- Vol Alm: Los volúmenes de almacenamiento de efluentes son necesarios cuando los Qefluentes son mayores a los Qriego, es decir cuando el Balance de Almacenamiento es positivo. Debe estimarse el volumen acumulado a partir de los meses estivales en donde se espera no exista almacenamiento o este sea mínimo.

- QSup: Se refiere al caudal suplementarios con que debe contar el establecimiento para garantizar las necesidades hídricas de los cultivos. Se obtiene de restar a los Qriego el Qefluente y el Volumen Almacenado del periodo anterior. Debe tenerse en cuenta que siempre que existan efluentes almacenados debe priorizarse su uso frente al agua suplementaria.

Con la información anterior debe construirse y presentable una tabla de manejo de caudales como la que sigue a continuación (Tabla 2.21).

Se incluye un modelo de presentación para el ejemplo que venia trabajándose. Nótese que los Q riego superan ampliamente a los Q efluentes disminuyendo las necesidades de almacenamiento pero requiriendo de mayores Q suplementarios. Esto se debe al vuelco de efluentes con elevada concentración de nitrógeno.

Mes	Q Riego (m ³ /mes)	Q Ef (m ³ /mes)	Δ Alm (m ³ /mes)	Vol Alm (m ³)	Q Sup (m ³ /mes)	Q Sup (l/s)
Ene	7.579	682	-6.897	0	6.897	2,58
Feb	5.343	616	-4.727	0	4.727	1,88
Mar	3.114	372	-2.742	0	2.742	1,02
Abr	2.235	360	-1.875	0	1.875	0,72
May	1.281	93	-1.188	0	1.188	0,44
Jun	0	90	90	90	0	0,00
Jul	0	93	93	183	0	0,00
Ago	2.009	93	-1.916	0	1.733	0,72
Sep	3.182	360	-2.822	0	2.822	1,09
Oct	4.523	372	-4.151	0	4.151	1,55
Nov	6.146	660	-5.486	0	5.486	2,12
Dic	7.275	682	-6.593	0	6.593	2,46
Total - Máximo	42.687	4.473	-38.214	183	6.897	2,58

Tabla 2.21: Manejo de Caudales

2.2.8.2. Fuente y calidad de agua extra necesaria

En función de la tabla de estimación de caudales aquellos establecimientos que requieran de caudales suplementarios para garantizar el correcto crecimiento de la superficie a implantar deberán dejar sentado el origen, cantidad y calidad de agua dulce disponible.

En los informes deberá estar, según el caso, la siguiente información:

- Origen del agua a utilizar y, en caso que corresponda, autorización de la autoridad correspondiente para su utilización y aprovechamiento
- Cantidad de agua disponible para uso suplementario y periodo de tiempo durante la cual puede utilizarse.
- Estudio de la calidad de agua para riego mediante una caracterización de al menos los siguientes parámetros: Conductividad Eléctrica, RAS, N total, P total, *Escherichia coli*.

Debe tenerse en cuenta que la utilización de este recurso es un suplemento para garantizar el correcto tratamiento de las aguas residuales en el suelo. Por este motivo el agua a utilizar debe ser de excelente calidad, de tal manera que no contribuya de forma significativa a la carga de nutrientes, sales o materia orgánica que ya es incorporada al sistema a través de las aguas residuales.

En el caso en que las aguas suplementarias a utilizar contengan elevados niveles de al menos uno de los parámetros mencionados anteriormente, estos deberán tenerse en cuenta a la hora de calcular las láminas hídricas de diseño y la superficie mínima a implantar.

2.2.8.3. Sistemas de Almacenamiento

En aquellos establecimientos que demanden la utilización de reservorios estacionales para almacenar efluentes, para su aprobación deberán presentar en los proyectos al menos la siguiente información:

- Tipo de Sistema a Emplear: Lagunas, tanques, reservorios, etc.
- Volumen Máximo a Almacenar: Deberá presentarse una tabla que refleje el balance hídrico entre la generación de efluentes y su utilización para riego en función de la información presentada en la sección "Manejo de Caudales". En función de sus características constructivas y la escala del proyecto deberán tenerse en cuenta la evaporación y precipitación como factores de diseño.
- Dimensiones del Deposito: Profundidad máxima y media, área ocupada, disposición espacial, ángulo de talud, etc.
- Carga Orgánica Diaria por Superficie de Deposito (g DBO/m²/dia). Media del periodo de acumulación de efluentes y detalle mensual si existiesen variaciones considerables en la concentración de DBO durante este.

- **Características Constructivas:** Materiales, impermeabilización, tuberías o canales de entrada de efluentes, ubicación de la salida (tipo, profundidad), etc.
- **Contingencias:** Metodología para transporte de efluentes almacenados a sistema de tratamiento. Características constructivas. Pileta de equalización si fuese necesario.
- **Plano Espacial:** Ubicación del sistema dentro del establecimiento. Punto de entrada y salida de efluentes. Sistema de Contingencias. Referencias al sistema de tratamiento y área cultivada.

Se debe tener en cuenta que la carga orgánica diaria por superficie de depósito no podrá superar el valor de 4 g DBO/m²/día. Este parámetro, en conjunto con el volumen máximo de almacenamiento y la concentración de DBO en el efluente, determina la profundidad máxima que pueden tener los sistemas de almacenamiento para evitar la generación de malos olores.

2.2.9. Diseño Detallado del Sistema de Riego

La verificación del sistema permite comprobar si se requiere ajustar el área a irrigar o las láminas de aplicación mensuales. Si este fuera el caso se requiere del rediseño del sistema de riego para cumplir con las nuevas características.

Si las láminas de aplicación fuesen correctas, corresponde de todas maneras detallar el sistema de riego actual con el objetivo de poder demostrar su eficiencia en la distribución y uso del agua.

La información contenida en el diseño detallado brindará además las pautas de operación y manejo mensuales del sistema a fin de garantizar la aplicación de las láminas correspondientes.

Por estos motivos los proyectistas deberán presentar la siguiente información. Vale aclarar que esta tiene carácter general, debiendo mencionarse aquellos aspectos característicos de cada sistema de riego en particular.

- **Método de Riego.** Características y eficiencia esperada.
- **Área a Irrigar.** Superficie de unidades y subunidades de riego, cultivos a implantar o implantados, croquis.

Riego por Gravedad

- **Lámina de Reposición.** Cálculo en función del tipo de suelo y tolerancia de cultivos.
- **Distribución.** Tuberías o canales de distribución. Características constructivas. Aforo. Ubicación en croquis. Pérdidas estimadas.

- **Operación de Riego.** Caudales de riego con efluentes y/o agua suplementaria. Tiempos de riego para efluentes y/o agua suplementaria para cada unidad y subunidad.
- **Intervalos de Riego.** Intervalos de riego mensuales. Complementación entre riego con efluentes y riego con agua suplementaria.
- **Comprobación.** Comparación entre lámina aplicada e infiltración del suelo. Tiempo de infiltración. Tiempos e intervalos entre periodos de secado.
- **Mantenimiento.** Mantenimiento programados. Personal encargado del riego.

Riego Localizado

- **Cabezal de Riego.** Filtros: tipos, eficiencia, dimensionamiento. Bombas. Equipos de fertirrigación u otros. Caudalímetros. Piletas de ecualización.
- **Goterros.** Tipos de goteros, características.
- **Diseño.** Número de emisores por planta. Caudales de goteo. Dosis de riego. Verificación según infiltración del suelo.
- **Operación.** Tiempos de riego. Intervalos de riego.
- **Diseño hidráulico.** Diámetro cañerías. Presión de trabajo. Bombas. Croquis del sistema de riego.
- **Caudales suplementarios.** Ecualización con efluentes ó forma de administración. Complementación entre riego con efluentes y riego con agua suplementaria.
- **Mantenimiento.** Limpieza de equipos de filtrado. Limpieza y/o reposición de goteros. Frecuencia. Encargado de riego y/o mantenimiento.

En la presentación de la información se debe tener en cuenta que el objetivo es verificar la eficiencia del sistema y poder calcular la carga de nutrientes u otros componentes aplicada a cada unidad de riego.

Un aspecto particular a considerar en la operación es la manera de complementar el riego con efluentes y el riego suplementario cuando se requiere de este ultimo. Los proyectistas podrán optar por los sistemas que crean convenientes para complementar ambos riegos. Deberán presentar la información que permita comprobar que las láminas de efluentes aplicadas a cada unidad de riego correspondan a las láminas de diseño.

2.2.10. Red Freatimétrica

Se mencionan algunos aspectos mínimos que deberían considerarse en el diseño e instalación de la Red Freatimétrica. Esta información deberá complementarse por las autoridades con competencia en el tema.

Los aspectos a abordar son:

- Instalación de al menos tres freatímetros para evaluar la dinámica freática. Establecer con esto los puntos de monitoreo en función de aquellos que sean representativos del funcionamiento del sistema.
- Profundidad mínima de 4,50 m.
- Georeferenciación y acotado.

2.2.11. Plan de monitoreo

El monitoreo del sistema de disposición final de efluentes permite su fiscalización por parte de las autoridades correspondientes. Debe ser utilizado también por los responsables a cargo de los establecimientos como un instrumento de toma de información para mejorar las decisiones respecto a la operación y manejo de los sistemas.

Deben realizarse monitoreos sobre diversos aspectos del sistema y con diferente frecuencia. Se deberá recopilar esta información de forma sistemática para ser presentada en los momentos que la Subsecretaría de Ambiente lo disponga.

Las tablas que siguen a continuación contienen el detalle de todos los aspectos a monitorear y su frecuencia. En función de las características de cada establecimiento, su tamaño, generación de efluentes, ubicación u otros aspectos las autoridades correspondientes podrán solicitar la inclusión de otros parámetros y determinar diferentes frecuencias para su monitoreo.

Los parámetros a monitorear sobre el riego y almacenamiento siguen a continuación (Tabla 2.22).

Riego y Almacenamiento			
Grupo	Ítem	Frecuencia de Monitoreo	Observaciones
Efluentes	Caudales de riego con efluentes	Mensual	Estacion de aforo previo ingreso a sistema de riego.
Agua Suplementaria	Caudales de riego con agua suplementaria	Mensual	Estacion de aforo previo ingreso a sistema de riego.
Láminas de Riego	Láminas de riego aplicadas a cada unidad y subunidad de riego	Mensual	En función de Caudales de Riego, Tiempos de Riego y Superficie
Almacenamiento	Nivel y volumen del deposito almacenamiento	Mensual	Durante periodo de almacenamiento.

Tabla 2.22: Monitoreo del Riego y Almacenamiento

El monitoreo de efluentes debe realizarse sobre un punto representativo de los flujos utilizados para riego. Deberá tenerse en consideración la metodología de toma de muestras correspondientes para preservar su calidad hasta el sitio de análisis.

Debe tenerse en cuenta que, en el monitoreo de efluentes, existen valores máximos propuestos en este informe para garantizar el correcto funcionamiento del sistema de disposición final y minimizar los riesgos sanitarios. La superación de dichos máximos puede ser momentánea y puntual por la ocurrencia de situaciones particulares. Se debe corregir rápidamente para evitar afectaciones sobre el ambiente o la salud.

Los parámetros a monitorear, sus concentraciones máximas y la frecuencia con que deben realizarse se detalla en la Tabla 1.1: Estándares de Calidad de Efluentes para Riego en la sección 1.2. Estándares de Calidad Propuestos.

El monitoreo de suelos deberá realizarse sobre cada unidad de riego. La metodología consiste en tomar muestras compuestas de al menos tres sectores diferentes de la unidad de riego. Los parámetros a monitorear siguen a continuación (Tabla 2.23)

Suelo			
Grupo	Ítem	Frecuencia de Monitoreo	Observaciones
	pH	Anual	
	EC	Anual	
Físico - Químicos	Materia Orgánica	Anual	
	CIC	Anual	
	RAS	Anual	
	N	Anual	
Nutrientes	P	Anual	
	K	Anual	
	Na	Anual	
Cationes	Ca	Anual	
	Mg	Anual	
Metales	Según origen y características de efluentes (*)	Anual	(*) Solo para establecimientos del Grupo B

Tabla 2.23: Monitoreo de Suelos

El monitoreo de las aguas freáticas proporciona indicadores fundamentales para la evolución de la eficacia del sistema. Debe realizarse entonces sobre puntos que representen este funcionamiento.

Los freáticos a muestrear deben ser aquellos que por su ubicación reciban el aporte de aguas abajo de los sitios de riego. La determinación de este punto debe ser realizada por profesionales en función del estudio de la dinámica freática.

Los parámetros a monitorear propuestos siguen a continuación (Tabla 2.24).

Agua Freática			
Grupo	Ítem	Frecuencia de Monitoreo	Observaciones
Profundidad	Nivel Freático (m)	Trimestral	
	pH	Trimestral	
	EC	Trimestral	
	Nitratos	Trimestral	
	Nitritos	Trimestral	
Calidad	N Total	Trimestral	
	P Total	Trimestral	
	DBO5	Trimestral	
	DQO	Trimestral	
	<i>E. Coli.</i>	Trimestral	
Metales	Según origen y características de efluentes (*)	Trimestral	(*) Solo para establecimientos del Grupo B

Tabla 2.24: Monitoreo del Agua Freática

Se deberá realizar un seguimiento sobre las labores realizadas en los cultivos implantados. Es importante sistematizar esta información para presentarla en los momentos que sea requerida. Los parámetros a monitorear siguen a continuación (Tabla 2.25)

Cultivos			
Grupo	Ítem	Frecuencia de Monitoreo	Observaciones
Cultivos y Manejo Cronológico	Cultivos	Anual	Especie, variedades, cultivares. Cuadro y superficie

	Fechas de implantación, labores culturales, cosecha, fertilizaciones, manejo sanitarios, etc	Anual	Especial detalle en manejo nutricional. Productos aplicados, dosis, fecha.
	Rendimiento/Productividad (Kg/Ha Año) (m3/ha)	Anual	Según corresponda a cultivos forrajeros o forestales
Cosecha	Forma de Aprovechamiento	Anual	
	Tiempo entre cosecha y ultimo riego con efluentes	Anual	

Tabla 2.25: Monitoreo de Cultivos

2.2.12. Plano del Establecimiento

Deberá presentarse un plano georeferenciado del establecimiento en donde queden establecidos:

- Límites del establecimientos. Ubicación del sistema de tratamiento. Ubicación del sistema de almacenamiento.
- Sistema de Riego. Canales, tuberías, etc. Equipos de Bombeo. Cabezal de riego.
- Superficie a irrigar. Unidades y subunidades de riego. Cultivos implantados o proyectados.
- Ubicación de estudios de suelo. Ubicación y cota de freáticos.

3. Excepciones y Alternativas

Debidas a los volúmenes de almacenamiento

El diseño aquí propuesto se adapta mejor a establecimientos que concentren su producción de caudales efluentes en los meses estivales independientemente de la concentración de residuos que posean. En estos casos estas situaciones coinciden con los periodos de máxima demanda evapotranspiratoria, minimizando el volumen a almacenar en los periodos

en donde la generación de efluentes es mayor a la necesidad hídricas de los cultivos.

En aquellos establecimientos en donde la generación de caudales efluentes este concentrada en los meses invernales y donde exista la imposibilidad de utilizar estos para riego debido a las condiciones ambientales y de los cultivos, es esperable como consecuencia volúmenes de almacenamiento muy elevados.

La aplicación de estos sistemas de tratamiento en los casos anteriores requiere todavía de mayor investigación y desarrollo para encontrar formas adecuadas de almacenar y/o tratar dichos efluentes invernales. Es por ello que la normativa debería contemplar excepciones para los establecimientos que presentan estas condiciones, siempre y cuando estos ofrezcan alternativas que sean socio-económicas y ambientalmente sustentables.

Bibliografía

- Álvarez, A. *et al.* (2008) 'Impactos en el agua subterránea de un sistema de efluentes para riego. El Sistema Paramillos (Lavalle, Mendoza, Argentina)', *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo*, XL(2), pp. 61-81.
- Alvarez, R. (2006) 'Balance de Nitrogeno en Cultivos de Trigo', *INTA - Estación Experimental Agropecuaria Rafaela. INFORMACION TECNICA DE TRIGO CAMPAÑA 2006 Publicación Miscelánea N° 10*.
- Azcón-Bieto, J. and Talón, M. (2000) *Fundamentos de fisiología vegetal*. 2da edn. Edited by McGraw-Hill Interamericana.
- Barbagallo, S. *et al.* (2003) 'Wastewater quality improvement through storage: a case study in Sicily', *Water Science and Technology*, 47, pp. 169-176. Available at: <https://iwaponline.com/wst/article-pdf/47/7-8/169/422815/169.pdf>.
- Bouwer, H. and Idelovitch, E. (1987) 'Quality requirements for irrigation with sewage water', *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 113(4), pp. 516-535.
- Castellanos, M. T., Cartagena, M. C. and Ribas, F. (2007) 'Medidas en campo del balance de agua y de nitrógeno en un cultivo de melón con fertirrigación', *Estudios de la Zona No Saturada del Suelo*, VIII, pp. 217-223. Available at: <https://www.researchgate.net/publication/237650243> (Accessed: 12 April 2020).
- Crites, R. W. *et al.* (2014) *Natural wastewater treatment systems*. 2da edn, *Natural Wastewater Treatment Systems*. 2da edn. CRC press. doi: 10.1201/b16637-2.
- Friedler, E., Juanico, M. and Shelef, G. (2003) 'Simulation model of wastewater stabilization reservoirs', *Ecological Engineering*, 20, pp. 121-145. doi: 10.1016/S0925-8574(03)00009-0.
- Juanico, M. and Dor, I. (1999) *Hypertrophic Reservoirs for Wastewater Storage and Reuse: Ecology, Performance and Engineering Design*, *Marine Pollution Bulletin*. Edited by M. Juanico and I. Dor. Heidelberg: Springer-Verlag. doi: 10.31729/jnma.1240.
- Juanico, M. and Shelef, G. (1994) 'Design, operation and performance of stabilization reservoirs for wastewater irrigation in Israel', *Water Research*, 28(1), pp. 175-186. doi: 10.1016/0043-1354(94)90132-5.
- OMS, O. M. de la S. (1990) *1 Directrices para el uso sin riesgos de aguas residuales. Medidas de Protección de la Salud Pública.*, Organización Mundial

de la Salud. Available at:
http://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/39350/9243542486_es_part1.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

OMS, O. M. de la S. (2006) *Who Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta and Greywater. V. 2. Wastewater use in agriculture, World Health*. doi: 10.1007/s13398-014-0173-7.2.

Pereira, L. S. *et al.* (2010) *El Riego Y Sus Tecnologías*. 1ra edn. Albacete: CREA-UCLM.

Salazar, J. E. (2005) 'El fósforo en los sistemas ganaderos de leche', *Agronomía Mesoamericana*, 16(2), pp. 231-238. Available at: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=43716213> (Accessed: 14 April 2020).

US-EPA (2006) *Process Design Manual - Land Treatment of Municipal Wastewater Effluents*. EPA/625/R-, *Process Design Manual - Land Treatment of Municipal Wastewater Effluents*. EPA/625/R-06/016. EPA/625/R-. Cincinnati, Ohio. Available at: <http://nepis.epa.gov/Exe/ZyPURL.cgi?Dockey=2000ZYD5.txt>.

US-EPA, E. P. A. (2012) *Guidelines for Water Reuse, Office of Research and Development*.

Vázquez, M. E. (2002) 'Balance y Fertilidad Fosforada en Suelos Productivos de la Región Pampeana', *Informaciones Agronómicas del Cono Sur*, 16.

WEF, F. W. E. (1990) 'Cap 4 - Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales en el Suelo por Infiltración Lenta', in *Sistemas Naturales para el Tratamiento de Aguas Residuales - Manual de Practica FD - 16*.



ALEJÁN MARTÍN



Federico Horne



Paula Gabriela