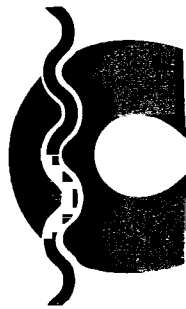


Depuración y reutilización de aguas en Gran Canaria.



CONSORCIO
INSULAR DE
APROVECHAMIENTO
DE AGUAS
DEPURADAS
DE GRAN CANARIA

El documento técnico sobre la Depuración y Reutilización de las Aguas en Gran Canaria ha sido elaborado por:

- Antonio Marrero Domínguez. Doctor Ingeniero Agónomo. Investigador del Centro de Investigación y Tecnología Agraria (CITA).
- Pino Palacios Díaz. Doctora Ingeniero Agónomo. Profesora de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria.

El Presente folleto es un resumen del documento técnico de los autores realizado por los siguientes técnicos del Consorcio Insular de Aprovechamiento de Aguas Depuradas de Gran Canaria:

- Fernando Fernández Pinazo. (Ingeniero Agrónomo).
- María del Pino Pérez Marrero. (Ingeniero Técnico Industrial).
- Mónica Medina Arribas (Ingeniero Técnico Agrícola).
- Víctor Manuel García Bethencourt (Ingeniero Técnico Agrícola).

* El presente folleto ha recibido el premio "Mejor Trabajo Divulgador" otorgado por la Consejería de Agricultura, Pesca y Alimentación del Gobierno de Canarias en su edición del año 1996.

Edita: Consorcio Insular de Aprovechamiento de Aguas Depuradas de Gran Canaria.

Coordina: Imaco 89

Realización: Gráficas Atlanta, S.L.

Impresión: Gráficas Atlanta, S.L.

Foto Portada: Depuradora de Guía-Gáldar, lindada por cultivos de plataneras.

Dep. Legal: GC-395-1996.

© Copyright - 1ª Edición Año 1996 - 2ª Edición año 1997



◆ PRESENTACION

La madurez cultural y posiblemente, el índice más preciso del nivel de desarrollo de un país, es quizás, el esfuerzo que dedica al medio ambiente y a la explotación racional de sus recursos naturales. El agua, como bien escaso, único, limitado e imprescindible para la vida, debe ser el recurso máspreciado, y por ende, el mejor gestionado de cuantos se posean.

En Gran Canaria se han hecho considerables esfuerzos para la obtención de aguas de fuentes no convencionales que acumularon una considerable y en muchos aspectos singular experiencia en desalación de caudales marinos y salobres.

Asimismo, se ha profundizado en las técnicas de depuración de aguas residuales y su posterior reutilización agrícola. Esta publicación, a un tiempo técnica y divulgativa, ofrece un panorama completo de las posibilidades de la depuración y reutilización de aguas que presentan la continuidad de la ya rica y secular cultura isleña del agua, ahora prolongada en la utilización de tecnologías punteras.

JOSE MACIAS SANTANA
*Presidente del Consorcio Insular
de Aprovechamiento
de Aguas Depuradas
de Gran Canaria*

INDICE

PRESENTACIÓN	4
INTRODUCCIÓN	7

CAPÍTULO 1:

LA DEPURACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES URBANAS	8
I.1. CONTAMINACIÓN Y MEDIO AMBIENTE	8
I.1.1. Contaminación de aguas urbanas: características y efectos..	8
I.1.2. Parámetros utilizados para cuantificar la contaminación de las aguas residuales	9
I.1.3. La depuración: concepto y tratamientos	9
* Pretratamiento	9
* Tratamiento primario	10
* Tratamiento secundario	11
* Tratamiento terciario	12
* La desinfección	12
I.2. INFRAESTRUCTURA DE DEPURACIÓN EN GRAN CANARIA ...	15
Diagramas de diferentes procesos de depuración.....	16
Nivel, tipo de tratamiento y caudal de las E.D.A.R. gestionadas por el Consorcio	18
Mapa de localización de las estaciones depuradoras de aguas residuales (E.D.A.R.) y redes de distribución de agua depurada para uso agrícola	19

CAPÍTULO II:

LA REUTILIZACIÓN AGRÍCOLA DE LAS AGUAS DEPURADAS URBANAS...	20
II. 1. INTRODUCCIÓN	20
II. 2. ASPECTOS AGRÍCOLAS Y SANITARIOS DEL RIEGO CON AGUA DEPURADA	22
II. 2.1. Efectos del agua depurada en el suelo agrícola	22
II. 2.2. Efectos del agua depurada en los cultivos	24
II. 2.3. Efectos del agua depurada en las instalaciones de riego ...	27
II. 2.4. Aspectos sanitarios	28
II.3. GESTIÓN Y MANEJO DEL AGUA DEPURADA EN LAS EXPLOTACIONES AGRARIAS	28
II.3.1. Control de la salinidad y sodicidad	29
II.3.2. Tratamientos de protección de las instalaciones de riego ..	30



CAPÍTULO III: CARACTERÍSTICAS AGRONÓMICAS Y SANITARIAS DE LAS AGUAS DEPURADAS DE GRAN CANARIA	32
III.1. CARACTERÍSTICAS AGRONÓMICAS.....	32
III.2. CARACTERÍSTICAS SANITARIAS	32

CAPÍTULO IV: EJEMPLOS PRÁCTICOS DE MANEJO DEL AGUA DEPURADA	36
IV.1. INTRODUCCIÓN. LIMITACIONES A LA APLICABILIDAD DE ESTOS EJEMPLOS	36
IV.1.1. Valores medios de los parámetros del análisis	37
IV.1.2. Estimación de la cantidad de nitrógeno asimilable aportado por las aguas depuradas	37
IV.1.3. Estimación de la cantidad de fósforo asimilable aportado por las aguas depuradas	37
IV.1.4. Estimación de la cantidad de potasio asimilable aportado por las aguas depuradas	38
IV.1.5. Estimación de la dosis de riego	38
IV.2. EJEMPLO 1: CULTIVO DE PLATANERA EN LA ZONA DE GÁLDAR REGADO CON AGUA DE LA DEPURADORA DE GUÍA-GÁLDAR	38
IV.2.1. Descripción de las condiciones del cultivo	38
IV.2.2. Comparación de calidades de agua depurada y agua blanca de la zona	39
IV.2.3. Recomendaciones de fertilización	40
IV.2.4. Recomendaciones de riego	41
IV.2.5. Medidas de mantenimiento de la instalación de riego	42
IV.3. EJEMPLO 2. CULTIVO DE TOMATE EN LA ZONA DE TELDE REGADO CON AGUA DE LA DEPURADORA DE BARRANCO SECO	43
IV.3.1. Descripción de las condiciones de cultivo	43
IV.3.2. Comparación de calidades de agua depurada y agua blanca de la zona	44
IV.3.3. Recomendaciones de fertilización	46
IV.4. EJEMPLO 3. CULTIVO DE PAPAS EN LA ZONA NORTE REGADO CON AGUA DE LA DEPURADORA DE MOYA	46
IV.4.1. Descripción de las condiciones de cultivo	47
IV.4.2. Comparación de calidades de agua depurada y agua blanca de la zona	48
IV.4.3. Recomendaciones de fertilización	49
IV.4.4. Recomendaciones de riego	50
IV.4.5. Medidas de mantenimiento de la instalación de riego	51



BIBLIOGRAFÍA	52
---------------------------	----



INTRODUCCIÓN

El Consorcio Insular de Aprovechamiento de Aguas Depuradas de Gran Canaria explota las depuradoras de la Isla. Asimismo dispone de redes de distribución de agua depurada por toda la geografía Insular, desde el Sur, en Tirajana, al Norte, en Gáldar; pasando por Telde y desde las medianías en Teror hasta la costa en Bañaderos, pasando por Fírgas. En resumen, cerca de 25 Hm³ de agua al año, suficiente para regar cinco mil hectáreas de tomates o dos mil quinientas hectáreas de plataneras. Son más de 100 Km. de redes a disposición de la agricultura canaria.

En la actualidad existen problemas de abastecimiento de agua para los cultivos, sobre todo en los meses de verano y otoño. Esto induce subidas de precio del agua a extremos prohibitivos para muchos agricultores.

Aparece, por lo tanto, el agua depurada como una fuente complementaria de recursos hídricos, no convencionales, que en estos momentos ya está contribuyendo a equilibrar el balance hidrológico de esta Isla. Su aprovechamiento puede garantizar el riego de los cultivos en los meses de mayor escasez de aguas tradicionales. Su menor precio y aporte suplementario de nutrientes disminuye los costes de producción y aumenta la competitividad de las explotaciones agrícolas.

ANDRÉS RODRÍGUEZ GONZÁLEZ
*Consejero de Recursos Hidráulicos
del Excmo. Cabildo Insular
de Gran Canaria*



LA DEPURACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES URBANAS EN GRAN CANARIA

1.1. CONTAMINACIÓN Y MEDIO AMBIENTE

Toda actividad humana produce alteraciones de los ecosistemas naturales. El hombre utiliza los recursos disponibles para satisfacer sus necesidades y en este proceso se altera la cantidad y/o calidad de los recursos, siendo el agua uno de los más importantes.

El agua se contamina cuando “su composición o estado es directa o indirectamente modificado por la actividad del hombre en una medida tal que disminuye la facilidad de utilización para todos aquellos fines, o algunos de ellos, a los que podría servir en estado natural”.

1.1.1. CONTAMINACIÓN DE AGUAS URBANAS: CARACTERÍSTICAS Y EFECTOS

El agua que se utiliza en las ciudades y se vierte después en sus sistemas de alcantarillado recibe la denominación de agua residual municipal. Las consecuencias de la utilización del agua en los hogares son:

- su contaminación microbiana, esto es, la presencia o el incremento de microorganismos o sus residuos.
- el incremento de la cantidad de nutrientes, es decir, el aumento de los contenidos de determinados elementos o compuestos químicos necesarios para el crecimiento y desarrollo de los organismos.
- el incremento de la cantidad de metales pesados, que suponen riesgos para la salud y el medio en el que se vierten las aguas, y que en el caso de estar presentes son un impedimento para su uso en



la industria o el riego.

1.1.2, PARÁMETROS UTILIZADOS PARA CUANTIFICAR LA CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES

El grado de contaminación de las aguas residuales depende de la utilización que se haga de ellas. Se determina en el laboratorio mediante el análisis de unos parámetros que son estimadores de la alteración de la calidad del agua cuando se somete a diferentes procesos.

Los parámetros que se miden normalmente son:

- DBO₅ (Demanda biológica de oxígeno).
- DQO (Demanda química de oxígeno).
- SS (Sólidos en suspensión).
- pH.
- CE (Conductividad eléctrica).
- Cationes: Calcio, magnesio, sodio, potasio, amonio, hierro y aluminio.
- Aniones: bicarbonatos, sulfatos, cloruros, fluoruros, nitratos, nitritos y fosfatos.

1.1.3. LA DEPURACIÓN: CONCEPTO Y TRATAMIENTOS

Las aguas residuales pueden tener diferentes composiciones, según la calidad del agua de abasto de la cual se parte y según uso anterior. La calidad del afluente (que es el nombre de las aguas antes de ser depuradas, la exigencia de calidad del efluente (como llamamos a las aguas después de haber sido tratadas según su destino), condicionan el nivel y tipo de tratamiento al que deben someterse. Como las calidades son muy variables, también lo son los tratamientos. Estos pueden ser agrupados en las fases siguientes:

- Pretratamiento.
- Tratamiento primario.
- Tratamiento secundario.
- Tratamiento terciario.

PRETRATAMIENTO

Este tratamiento tiene por objetivos:



- El desbaste o eliminación y triturado de sólidos de gran tamaño que podrían provocar un mal funcionamiento de los equipos utilizados en las siguientes fases.
- El desarenado, que evita que las arenas y otros sólidos (de mayor densidad que la de la materia orgánica) erosionen los equipos de bombeo, obturen las tuberías y se acumulen en otros depósitos posteriores.
- La homogeneización para uniformizar caudales y características de las aguas, consiguiéndose así una mejoría en los posteriores tratamientos.

TRATAMIENTO PRIMARIO

Este tratamiento persigue:

- La reducción de los sólidos en suspensión (S.S.) o materia en suspensión (M.E.S.), que no han sido retenidos en el pretratamiento.
- La oxigenación de los fangos concentrados para evitar los malos olores producidos normalmente por condiciones de anaerobiosis.
- La eliminación de espumas y elementos flotantes.

En el tratamiento primario los sólidos en suspensión se eliminan por decantación, esto es, se separa el líquido que se encuentra en la parte superior de los sólidos sedimentados en la inferior. La decantación puede ser:

- Simple o física, cuando por su propio peso se separan los sólidos en suspensión decantados (que es como se llama a los sólidos que sedimentan en un plazo máximo de 2 horas).
- Por coagulación-floculación o físico-química, cuando se añaden productos coagulantes que ayudan a que las partículas se agrupen entre sí formando flóculos de gran tamaño para facilitar su sedimentación.

Con el tratamiento primario se elimina aproximadamente un 65% del total de los sólidos en suspensión.

Se reduce también la carga contaminante de sustancias



orgánicas. El parámetro DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno) que se utiliza como un estimador de la contaminación existente. Con el tratamiento primario se suele conseguir una disminución próxima al 35% de su valor a la entrada de la estación depuradora.

El agua producto de este tratamiento primario es vertida o reutilizada directamente en algunas zonas del mundo (aunque no resulta recomendable ni sanitaria ni ecológicamente) o se le somete primero a desinfección, proceso que se explica posteriormente.

En el Proyecto de Real Decreto que establece las condiciones básicas para la reutilización directa de las aguas residuales depuradas, elaborado en 1996 por la Secretaría General Técnica del Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente, prohíbe la reutilización de efluentes primarios, que deben pasar por una depuración secundaria antes de poder ser reutilizados.

TRATAMIENTO SECUNDARIO

El objetivo fundamental de este tratamiento es la eliminación de la materia orgánica biodegradable. Algunos microorganismos son capaces de crecer utilizando esa materia orgánica como fuente de carbono y/o energía. Transforman así la materia orgánica contenida en el agua residual, que:

- Pasa a formar parte de sus propias estructuras, incrementándose la masa de microorganismos.
- Da lugar a una serie de subproductos inorgánicos, fundamentalmente CO_2 , NH_3 o NO_3 , y H_2O , si las respiraciones son aerobias.

Si en el medio no existe suficiente oxígeno o éste se agota, los microorganismos no pueden seguir utilizando la respiración aerobia como proceso metabólico y pasan a utilizar la respiración anaerobia o fermentación. Como las reacciones son distintas con la respiración anaeróbica, los residuos metabólicos cambian originándose compuestos que proporcionan malos olores (SH_2). Además, los géneros de microorganismos que proliferan en estas condiciones de anaerobiosis son diferentes, incrementándose las poblaciones de algunos microorganismos perjudiciales y la degradación de la materia orgánica se ralentiza.

Los tratamientos secundarios biológicos dependen, por tanto, de todos aquellos factores capaces de influir en el crecimiento de los



microorganismos.

Los tratamientos secundarios no están diseñados para reducir la salinidad del agua, por lo que la posible reutilización de la misma dependerá de la salinidad del afluente.

En el complejo de tratamiento Estación de Bombeo del Teatro/Depuradora Barranco Seco, donde se tratan las aguas residuales de la ciudad de las Palmas de Gran Canaria cuando se detectan concentraciones de sales que pueden perjudicar los cultivos a regar, las aguas son enviadas al emisario submarino, tras pasar por el tratamiento.

Así, los caudales a reutilizar son variables y están condicionados por las características de agua afluente. Sólo disminuyendo la salinidad del agua de abasto del municipio y eliminando del sistema de alcantarillado la entrada de aguas salinas procedentes en su mayoría de la intrusión marina en la parte baja de la ciudad, se podrá mejorar la situación.

TRATAMIENTO TERCIARIO

Los tratamientos terciarios se utilizan para eliminar o disminuir la presencia de algún componente no suficientemente eliminado con los tratamientos primario y secundario. Los principales tratamientos terciarios son los que, por varios sistemas, disminuyen:

- El contenido de nitrógeno de las aguas.
- El contenido de fósforo.
- Los sólidos en suspensión (coagulación química y filtración).
- La materia orgánica y metales (adsorción con carbono activo).
- Las sales disueltas sin cambio de estado (ósmosis inversa y electrodiálisis) o con cambio de estado (vapor compresión CV, MSF, MED).

Las Estaciones depuradoras hoy en día existentes no están diseñadas para disminuir las sales disueltas por lo que las aguas depuradas pueden llegar a concentraciones salinas que dificulten o impidan su posterior reutilización. Un tratamiento terciario de desalación aumentará el coste, pero mejorará la calidad del agua y



aumentará la viabilidad de su rehuso.

Esto sucede a menudo con las aguas depuradas canarias, por lo que ya se están construyendo los primeros tratamientos terciarios de desalación para aguas depuradas con destino a su reutilización agrícola.

LA DESINFECCIÓN

Los efluentes primario, secundario y terciario se vierten o reutilizan directamente en algunas zonas aunque se deben desinfectar previamente a su vertido o reutilización. Con la desinfección se reduce la capacidad de los microorganismos de crecer y producir infecciones. La desinfección es siempre recomendable cuando el agua depurada va a reutilizarse, no sólo por razones sanitarias sino también para proteger los sistemas de riego, como se explicará más adelante.

Existen criterios de calidad microbiológica del agua editados por primera vez en 1973 y revisados posteriormente en 1989 por la Organización Mundial de la Salud. Utilizan estudios epidemiológicos y son menos restrictivos que los utilizados en muchos países desarrollados en los que se busca minimizar la posibilidad de que la reutilización pueda provocar consecuencias negativas para la salud (Crook, 1991).

Con la desinfección la presencia de microorganismos disminuye enormemente. (Asano, 1994).

Las principales sustancias utilizadas en la desinfección de las aguas residuales tratadas son:

- El cloro, que normalmente se añade como gas o bien en forma de hipoclorito sódico, hipoclorito cálcico ó dióxido de cloro.
- Otras sustancias oxidantes como bromo, iodo o permanganato potásico, que pueden dejar residuos perjudiciales para el medio receptor del agua tratada.
- El ozono, que es otro oxidante que reacciona de forma parecida al cloro.
- Otros compuestos no oxidantes como órgano sulfurados y fenoles. La radiación ultravioleta.

La calidad del agua depurada se evalúa según varios criterios:

- Protección de la salud pública incluyendo criterios microbiológicos.
- Protección de los suelos y cultivos incluyendo criterios agronómicos.
- Requerimientos específicos de otros recursos.
- Proporcionar seguridad a sus destinatarios.

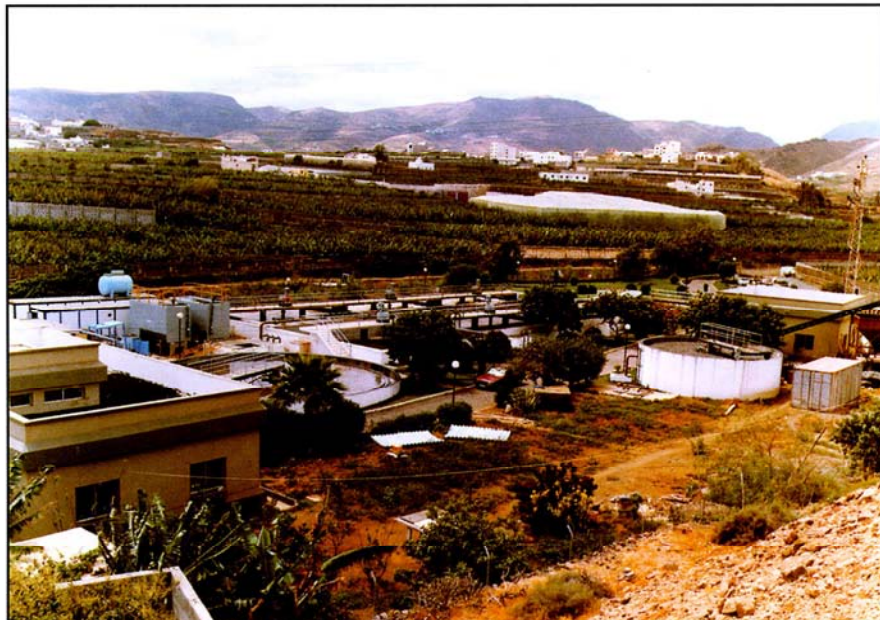
La evaluación de las aguas depuradas deberá contemplar uno o varios de estos criterios, originando la gran variedad de tratamientos que podemos encontrar en depuradoras de todo el mundo. Es indudable que la idea más generalizada es la de obtener agua de la mejor calidad posible de forma económicamente sostenible.



1.2. INFRAESTRUCTURA DE DEPURACIÓN EN GRAN CANARIA



Estación Depuradora de Barranco Seco



Estación Depuradora de Guía-Gáldar



Diagrama del Proceso de la EDAR de Barranco Seco

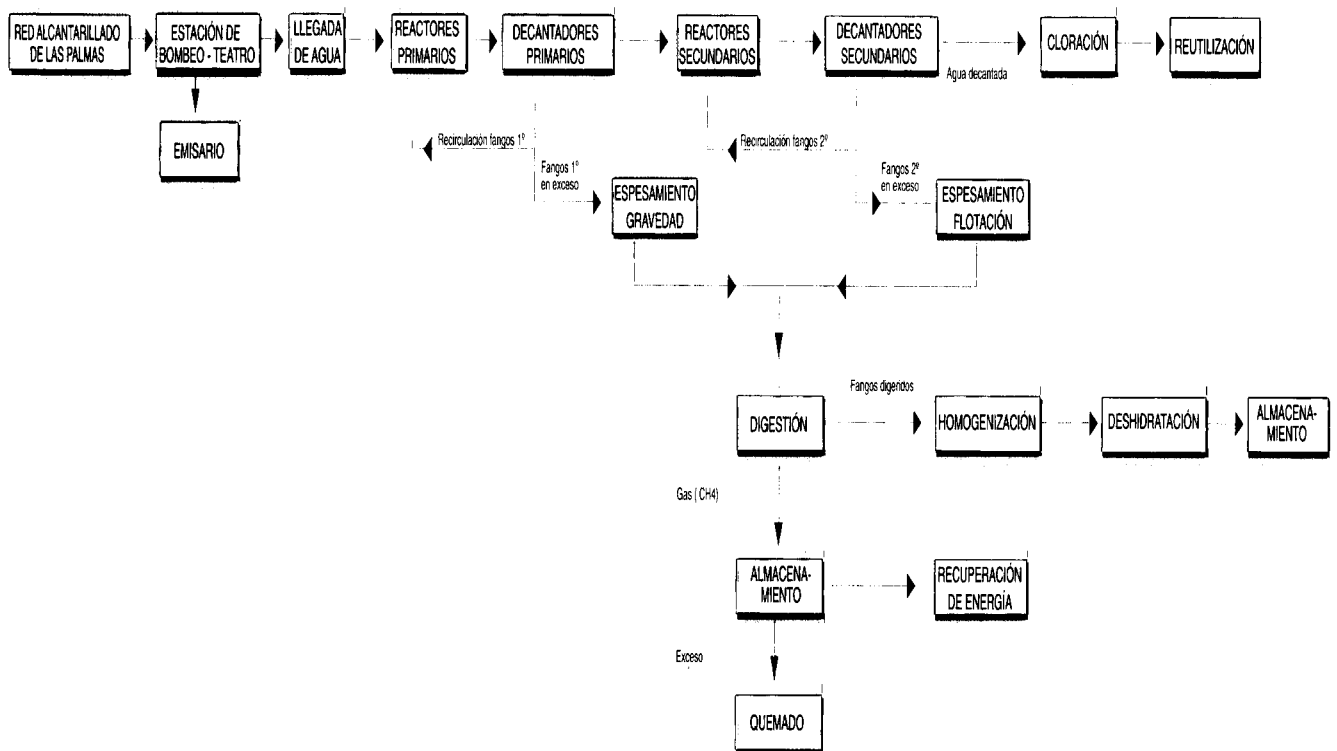
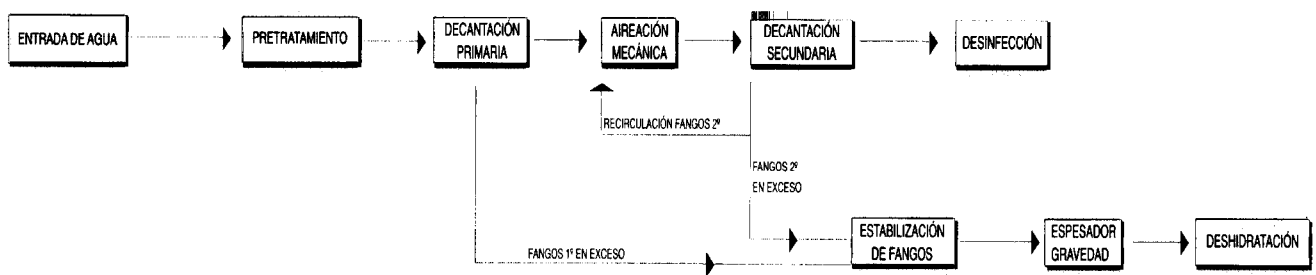


Diagrama del Proceso de la EDAR de Guía-Gáldar



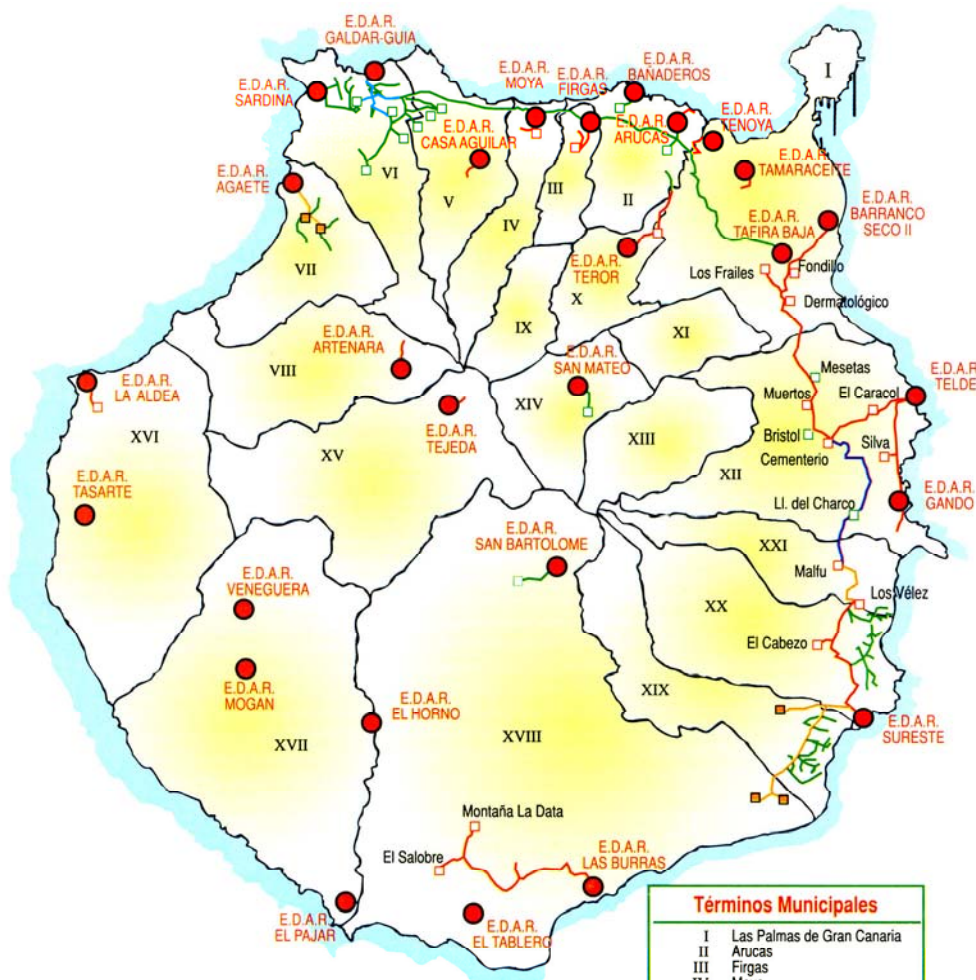
Nivel, tipo de tratamiento y caudal de las EDARs gestionadas por el Consorcio

Tabla I.1.

E.D.A.R.s.	POBLACION (hab.equiv.)	CAUDALES (m3/día)		PROCESO DE TRATAMIENTO
		Teórico	Real	
ZONA NORTE				
AGAETE	5.000	500	325	Aireación extendida/eras de secado
ARUCAS	20.000	2.000	2.100	Fangos activados/ digestión aeróbica/Filtros banda
BAÑADEROS	5.000	500	500	Aireación extendida/Eras de secado
FIRGAS	5.000	750	300	Aireación extendida/Eras de secado
GUIA	500	70	40	Oxidación total
GUIA-GALDAR	30.000	3.000	2.300	Fangos activados/digestión aeróbica/Filtros banda
SARDINA	2.000	200	160	Aireación extendida/Eras de secado
MOYA	5.000	500	383	Aireación extendida/Eras de secado
TEROR	10.000	1.200	428	Aireación extendida/Eras de secado
S.NICOLAS	10.000	1.500	900	Aireación extendida/Eras de secado
ZONA CENTRO				
BCO. SECO II	290.000	34.800	30.000	Etapa A+B/Digestión aeróbica/Filtros banda
TAFIRA	6.000	720	150	Aireación extendida/Eras de secado
TAMARACEITE	12.000	1.440	1.440	Aireación extendida/Eras de secado
TENOYA	6.000	720	172	Aireación extendida/Eras de secado
TEJEDA	1.500	225	100	Aireación extendida/Eras de secado
ARTENARA	600	120	40	Oxidación total



Mapa de localización de las estaciones depuradoras de aguas residuales (EDAR) y red de distribución de aguas tratadas



LEYENDA	
●	E.D.A.R.
□	DEPÓSITOS EN PROYECTO
■	DEPÓSITOS EJECUTADOS
□	DEPÓSITOS EJECUTADOS Y EN SERVICIO
—	TRAMOS DE LA RED EN PROYECTO
—	TRAMOS DE LA RED EJECUTADAS
—	TRAMOS DE LA RED EJECUTADAS Y EN SERVICIO
—	TRAMOS DE LA RED EN SERVICIO PENDIENTES DE MEJORA
—	TRAMOS DE LA RED EN EJECUCIÓN

Términos Municipales	
I	Las Palmas de Gran Canaria
II	Arucas
III	Firgas
IV	Moya
V	Santa María de Guía
VI	Gáldar
VII	Agáete
VIII	Artenara
IX	Valleseco
X	Teror
XI	Santa Brigida
XII	Telde
XIII	Valsequillo
XIV	San Mateo
XV	Tejeda
XVI	San Nicolás de Tolentino
XVII	Mogán
XVIII	San Bartolomé de Tirajana
XIX	Santa Lucía de Tirajana
XX	Aguimes
XXI	Ingenio



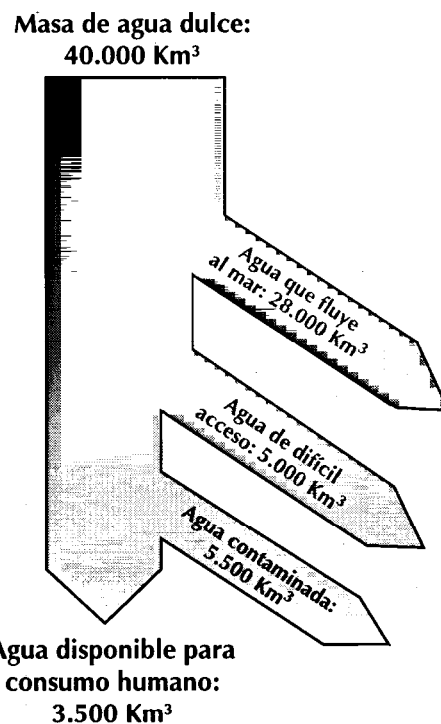
CAPÍTULO II

LA REUTILIZACIÓN AGRÍCOLA DE LAS AGUAS DEPURADAS URBANAS

II. 1. INTRODUCCIÓN

Aunque en primera instancia el agua aparece como un recurso casi inagotable, los datos existentes muestran un claro desequilibrio en el balance hídrico del planeta. Anualmente se mueve una masa de agua dulce de 40.000 km³.

El dato aparentemente tan favorable contrasta con la realidad de la gran cantidad de agua no aprovechable y que se refleja en el siguiente esquema:



Como se puede observar, la escasez de agua es un problema medioambiental a nivel mundial y de todos es sabido que el archipiélago canario no es una excepción. Gran Canaria, en particular, soporta anualmente una fuerte extracción de reservas de agua, con descensos de niveles freáticos por sobreexplotación que favorecen la intrusión marina y la salinización de nuestros acuíferos. Anualmente se extraen 98 Hm³ de los que 47 son renovados cada año por el agua de lluvia y 51 proceden de las reservas acumuladas durante siglos. De esto se deduce que el ritmo de consumo es superior al de regeneración, con las consecuentes repercusiones negativas sobre el desarrollo económico, social y medioambiental de la Isla.

La reutilización del agua depurada es una fuente alternativa que está contribuyendo a reducir el déficit hídrico existente, a disminuir la sobreexplotación del acuífero y la contaminación del litoral isleño. Actualmente, el Consorcio Insular de Aprovechamiento de Aguas Depuradas de Gran Canaria gestiona las depuradoras de Las Palmas de Gran Canaria (Barranco Seco), Agaete, Bañaderos, Cardones, Fargas, Guía, Guía-Gáldar, Sardina del Norte, Moya, Teror, La Aldea, San Mateo, Tafira, Tamaraceite, Tenoya, Artenara y Tejeda, de las cuales se reutiliza el agua de Barranco Seco, Cardones, Bañaderos, Fargas, Guía-Gáldar, Moya, Teror, Tenoya, Tejeda y Artenara. Gestiona también, utilizando la red de distribución del Tablero de Maspalomas, una parte del caudal depurado en la E.D.A.R. de Las Burras.



Estación de Impulsión de Agua Tratada del Fondillo (Tafira)

En lo que a infraestructura de reutilización respecta, como se refleja en el plano de la página 19, actualmente se encuentra en ejecución la ampliación de la red de Barranco Seco hacia el Sur y los tratamientos terciarios de Cardones y Bañaderos, así como las reutilizaciones de Agaete y la Aldea de San Nicolás. En proyecto, figura la Red Las Palmas-Norte, la mejora de la red de distribución de Arucas y Gáldar, así como, en la zona Sureste, la red secundaria de distribución desde Montaña Los Vélez, la red secundaria entre el Polígono de Arinaga y Juan Grande y la red general de reutilización Las Palmas-Norte y la impulsión de San Bartolomé de Tirajana Casco.

Hoy por hoy, el principal problema del agua depurada para su reuso, es el común a la mayor parte de las aguas blancas de la isla: la salinidad, consecuencia de la sobreexplotación del acuífero. En el caso de las aguas depuradas, generalmente, la mala calidad de las aguas de origen (aguas de abasto) y su paso por los hogares determinan la salinidad de las mismas. Con objeto de solucionar este problema, objetivo fundamental en materia de reutilización es la instalación de tratamientos terciarios (desalinizadoras) en las depuradoras que lo precisen. Se encuentran actualmente aprobada la obra de la desalinizadora de Barranco Seco para 26.000 m³/día mientras que se están ejecutando las desaladoras para las depuradoras de Cardones para 2000 m³ /día y Bañaderos para 600 m³ /día.

Esta parte de la publicación se ocupa de la reutilización de estas aguas. En las páginas siguientes se abordan aspectos relacionados con su uso y aplicación en el riego agrícola, exponiendo todas sus ventajas e inconvenientes y las particularidades para garantizar un manejo adecuado.

II.2. ASPECTOS AGRÍCOLAS Y SANITARIOS DEL RIEGO CON AGUA DEPURADA

II.2.1. EFECTOS DEL AGUA DEPURADA EN EL SUELO AGRÍCOLA

El riego con aguas depuradas puede influir en las propiedades físicas, químicas y microbiológicas de los suelos agrícolas.

PROPIEDADES FÍSICAS

En el caso de las aguas depuradas, en ocasiones se presentan mayores contenidos en sodio que las aguas blancas empleadas para el riego. Como al efecto dispersante producido por el sodio (tendente a la degradación de la estructura) se opone el efecto positivo provocado por calcio y magnesio, aportados también usualmente con las aguas depuradas, es fundamental el estudio del SAR. La relación de absorción de sodio (SAR) es un parámetro que relaciona estos tres elementos para tratar de cuantificar el fenómeno de degradación de la estructura.



Una vez estudiado el SAR, hay que tener en cuenta que la conductividad eléctrica (CE) disminuye la capacidad del sodio para provocar la dispersión del suelo, ambos factores (SAR y CE), deben por lo tanto analizarse conjuntamente.

Los efectos desfavorables derivados de los altos contenidos de sodio sobre la impermeabilización del suelo van a tener mayor o menor incidencia en función de su naturaleza más o menos arenosa o arcillosa (textura) y de su capacidad de drenaje.

Por este motivo es importante la evaluación del SAR y CE de cualquier agua utilizada para el riego, para lo que existen tablas de interpretación cuya validez es reconocida internacionalmente.

La materia orgánica del suelo contribuye a la formación de agregados, por lo que su aporte con las aguas depuradas mejora las condiciones de drenaje de los suelos, contrarrestando en parte el efecto desfavorable del sodio.

Toda aportación complementaria de materia orgánica, así como las aplicaciones de yeso agrícola (sulfato cálcico) y de otros abonos ricos en calcio contribuirá a evitar la pérdida de estructura del suelo.

PROPIEDADES QUÍMICAS

El aporte de nutrientes que se produce cuando se riega con aguas depuradas hace menores las cantidades de abonos minerales a utilizar, disminuyendo los costes de producción. Se acepta, por ejemplo, que el nitrógeno aportado por las aguas depuradas puede reemplazar, en gran medida, al aportado mediante fertilización mineral, lo que concuerda con los resultados de algunos autores (Marecos-do-Monte, 1989). En los ejemplos de abonado del capítulo IV se cuantifica el ahorro de nutrientes para los distintos cultivos.

Según la concentración de nutrientes en el agua depurada, las características del suelo y las extracciones de las cosechas, estos niveles de nutrientes pueden ser excesivos para el cultivo, o bien aportar un ahorro en fertilización e incidir favorablemente sobre los costes de producción. Sería conveniente, por tanto, complementar el seguimiento del cultivo con el apoyo de análisis de suelo y foliares periódicos para observar la asimilabilidad de tales nutrientes.

PROPIEDADES MICROBIOLÓGICAS

Podrían darse dos efectos completamente opuestos del uso de las aguas depuradas sobre las propiedades microbianas del suelo.

Por un lado, la pérdida de permeabilidad producida en el caso de que el agua depurada tuviera un alto contenido de sodio crearía condiciones anaeróbicas que dificultarían el crecimiento de los microorganismos del suelo. Por otro lado, la adición de materia orgánica que contiene el agua depurada favorece el desarrollo de los microorganismos del suelo, con efectos favorables en sus propiedades físicas y químicas. La cantidad total de micorrizas (bacterias) suele aumentar, lo que incrementa la capacidad de extracción de agua y nutrientes del sistema radicular de los cultivos (Safir, 1990).

11.2.2. EFECTOS DEL AGUA DEPURADA EN LOS CULTIVOS

El uso de agua depurada para el riego de los cultivos lleva aparejado ventajas y limitaciones que conviene estudiar para determinar las prácticas más adecuadas de su manejo agronómico. Entre las ventajas se cuenta el aporte de elementos nutritivos con el riego y entre las desventajas la alta concentración de sales que en ocasiones se presenta y la posible presencia de elementos tóxicos para las plantas.

APORTE DE FERTILIZANTES

El principal efecto diferencial del riego con agua depurada sobre las plantas es su aporte extraordinario de nutrientes, no presentes normalmente en las aguas blancas. Este aporte permite reducir, en algunos casos substancialmente, la cantidad de fertilizantes que es necesario aportar para garantizar un buen rendimiento de los cultivos. Analizamos a continuación la aportación de los principales macroelementos por las aguas depuradas.

NITRÓGENO

La mayor parte de las aguas depuradas son ricas en compuestos nitrogenados. Las concentraciones varían entre los 10 y 40 mg de nitrógeno total por litro de agua. Este nitrógeno se encuentra predominantemente en formas amoniacales y orgánicas, en menor proporción en forma nítrica y existen también bajos niveles de nitratos. Para muchos cultivos el aporte de nitrógeno realizado con el riego con agua depurada puede ser del mismo orden o incluso superior al aportado por las prácticas habituales de fertilización.

Este hecho, aunque en general beneficioso desde el punto de vista de ahorro de fertilizantes, puede en algún caso ocasionar problemas. En cultivos donde el pico de demanda de nitrógeno no coincida con el de agua se puede producir un exceso puntual de aportación de este elemento. Aun así, utilizando prácticas de manejo de riego y fertilización adecuadas, el aporte de nitrógeno del agua



depurada puede traducirse en un ahorro substancial de los costes de fertilización de los cultivos.

FÓSFORO

El nivel de fósforo en aguas depuradas es normalmente más variable que el de nitrógeno, encontrándose en la mayoría de los casos entre 5 - 20 mg de fósforo por litro de agua.

Los niveles presentes en el agua depurada son normalmente suficientes para cubrir, al menos teóricamente, las necesidades de la mayor parte de los cultivos. Sin embargo, es preciso tomar precauciones, toda vez que no se conoce bien el comportamiento de estas formas de fósforo en los suelos agrícolas ni su disponibilidad para las plantas. Por otro lado, la aportación de dosis excesivas de fósforo puede traer consecuencias negativas para los cultivos ya que se pueden producir situaciones de deficiencia de ciertos microelementos como el hierro y el cinc. Es importante, por tanto, el control de las aportaciones de abonos fosforados al cultivo.

POTASIO

El nivel de potasio oscila entre los 10 y 40 mg de potasio por litro de agua. Pese a que estas concentraciones suponen un aporte substancial de este elemento con el agua de riego, la gran demanda de este nutriente por la mayor parte de los cultivos hace necesario suplementarlo con fertilización potásica de tipo tradicional. A diferencia de lo que ocurre con el nitrógeno y el fósforo, las posibilidades de efectos negativos debido a un exceso de aportación de potasio son prácticamente nulas.

EFFECTOS DE LA SALINIDAD

Las aguas depuradas presentan en ocasiones altos contenidos de sales en solución consecuencia de la mala calidad inicial de las aguas de abasto y de la naturaleza e intensidad de los procesos a los que se las somete durante su utilización básicamente doméstica.

El principal efecto del riego con agua de alto contenido en sales es la dificultad de las plantas para absorber el agua. Pueden también producirse efectos tóxicos de ciertos iones que analizaremos en el apartado siguiente.

Distintos autores han propuesto clasificaciones de los cultivos con respecto a su sensibilidad a la salinidad (Feignin et al. 1991, Westcot y Ayers 1990). Sin embargo, en condiciones prácticas de manejo agrícola dicha sensibilidad, y su posible efecto en la reducción



de la producción, está en función del manejo que se haga del riego y de la fertilización de los cultivos, toda vez que éstos responden a las condiciones de conductividad de la solución del suelo y no necesariamente a la calidad del agua de riego.

TOXICIDADES ESPECÍFICAS

Ciertos iones presentes en las aguas de riego pueden tener, en concentraciones elevadas, efectos tóxicos para las plantas. Los niveles mínimos capaces de producir daño varían mucho merced a la sensibilidad de los distintos cultivos. De entre los iones normalmente presentes en las aguas depuradas son de especial importancia por los cloruros, el sodio y el boro.

Los síntomas de daño por exceso de cloruros varían por especies, aunque normalmente se manifiestan en forma de quemaduras y clorosis en las puntas y bordes de las hojas.

El sodio, además de su efecto indirecto por alteración de la estructura del suelo ya citada, ocasiona en las plantas daños similares a los de los cloruros, además de desequilibrios nutricionales que afectan a la asimilación del calcio y el potasio. Los efectos, tanto del sodio como de los cloruros, se manifiestan con más intensidad si se utiliza un sistema de riego por aspersión.

El boro es un nutriente esencial para las plantas. Aun así, en ciertas condiciones puede producir síntomas de toxicidad, especialmente en cultivos sensibles.

SENSIBILIDAD A MICRONUTRIENTES

En el caso de las aguas de las E.D.A.R. de Gran Canaria, debido a la escasa actividad industrial en la isla, no es de temer la aparición de altos niveles de estas sustancias.

Es poco usual que se presenten síntomas de toxicidad con las concentraciones de microelementos presentes en la mayoría de las aguas depuradas.

En cuanto a las plantas se refiere, muchos de estos micronutrientes son elementos esenciales para su normal desarrollo y producción. En cultivos, principalmente de explotación intensiva, la baja disponibilidad de estos microelementos hace que se produzca falta de algunos de ellos (por ejemplo de cinc, de hierro), de modo que la aplicación con el agua depurada de estos elementos puede ser beneficiosa para el cultivo.



II.2.3. EFECTOS DEL AGUA DEPURADA EN LAS INSTALACIONES DE RIEGO

En lo que concierne a su efecto sobre las instalaciones de riego, las aguas depuradas no son distintas de las aguas "blancas" tradicionales, utilizándose los mismos criterios para evaluar los peligros de unas y otras.

Como características comunes, las aguas depuradas tienen contenidos importantes de materia orgánica en suspensión que han de ser eliminados por filtración y/o decantación, especialmente si se utilizan sistemas de riego localizado.

OBTURACIÓN DE INSTALACIONES DE RIEGO LOCALIZADO

Como con las aguas depuradas existen riesgos de obturaciones se debe planear cuidadosamente el diseño del sistema de riego y la adopción de medidas de prevención. El alto contenido de materia orgánica de estas aguas hace que la cantidad de sólidos en suspensión sea también elevada, lo que hace necesaria una filtración adecuada de tales partículas.

Las aguas depuradas de nuestra isla suelen tener un pH en torno a 7,5, lo que si va unido a contenidos elevados de bicarbonatos (y/ carbonatos) puede inducir, al igual que en las aguas blancas, a la formación de depósitos que obturen los emisores.

Por lo tanto será importante una limpieza periódica de la instalación a base de productos acidificantes.

EFECTOS SOBRE LOS SISTEMAS DE BOMBEO

Para el uso de aguas depuradas es siempre aconsejable la instalación de un filtro de malla aguas arriba de la bomba que permita una filtración adecuada de las partículas en suspensión. En el caso de bombas centrífugas debe tenerse en cuenta que las de impulsor cerrado son más sensibles a la obturación por sólidos en suspensión que las de impulsor semiabierto o abierto.

PROBLEMAS DURANTE EL ALMACENAMIENTO EN ESTANQUES

El alto contenido en nutrientes del agua depurada hace que cuando estas aguas se almacenan en condiciones apropiadas de aireación y luz proliferen grandes cantidades de diversos tipos de algas. El control de estas algas es sencillo, mediante varias técnicas que se describen en el apartado II.3.2.



11.2.4. ASPECTOS SANITARIOS

Como se dijo en el apartado de la desinfección (capítulo I) existen dos tipos de orientaciones a la hora de establecer los criterios básicos de calidad microbiológico para la reutilización:

- La de la Organización Mundial de la Salud, que utiliza estudios epidemiológicos a la hora de establecer sus recomendaciones, establece criterios menos restrictivos que los utilizados en muchos países desarrollados.

- La de muchos países desarrollados, en los que se busca minimizar la posibilidad de que la reutilización pueda provocar consecuencias adversas para la salud (Crook, 1991).

Por tanto, el gran número de factores implicados en la reutilización ha dado lugar a la existencia de múltiples criterios establecidos por diferentes autores para distintas regiones del mundo.

Sólo en USA ya existen diferentes normas sanitarias entre los distintos estados. El Proyecto de Real Decreto español establece para la reutilización de las aguas diferentes parámetros y criterios en función del uso del agua. Los límites para microorganismos son los siguientes:

- Menos de 1 nemátodo intestinal/l para todos los usos.
- Menos de 10 coliformes fecales/100 ml para riego de céspedes y ornamentales con contacto directo y para productos de consumo en crudo.
- Menos de 200 coliformes fecales/100 ml para riego de céspedes con acceso restringido, hortalizas para consumir cocidas y frutales. menos de 500 coliformes fecales/100 ml para riego de cereales, cultivos industriales, forraje y pastos.

II.3. GESTIÓN Y MANEJO DEL AGUA DEPURADA EN LAS EXPLOTACIONES AGRARIAS

II.3.1. CONTROL DE LA SALINIDAD Y SODICIDAD

Cuando se riega con aguas salinas, es necesario practicar



lavados de los suelos que impidan su salinización. Normalmente las dosis de lavado se expresan en dosis de consumo necesarias para cada estado de desarrollo de los cultivos.

Una vez conocido el aporte de agua necesario para el consumo y los límites de salinidad tolerables en un cultivo determinado, se calculan las fracciones de lavado necesarias para mantenerlo por debajo de los límites descritos.

Al igual que para el manejo de aguas blancas, con aguas depuradas de alto contenido salino es necesario añadir a las dosis de riego un porcentaje de lavado que impida la acumulación de sales en el suelo.

El efecto de los excesivos niveles de sodio que, en ocasiones, se pueden presentar en aguas depuradas se deben combatir con continuas aportaciones de materia orgánica y calcio en todas sus formas disponibles.

Los sistemas de riego de alta frecuencia permiten el manejo de aguas más salinas debido precisamente a la corta periodicidad de su manejo. Dependiendo del índice de salinidad del agua depurada y de la sensibilidad del cultivo a las sales, podría ser recomendable mezclar el agua depurada con agua blanca de menor salinidad, o bien, aplicar riegos alternos, es decir, un riego de agua blanca cada dos o tres de agua depurada.

II.3.2. TRATAMIENTOS DE PROTECCIÓN DE LAS INSTALACIONES DE RIEGO

La prevención de la aparición de los problemas en las instalaciones de riego localizado por el uso de agua depurada debe comenzar con el diseño de la instalación, continuar con el adecuado manejo del riego y abonado y complementarse con tratamientos periódicos de la instalación de tipo preventivo. En general, los posibles problemas que puedan aparecer son resolubles si se detectan con precocidad y se sigue un calendario de mantenimiento.

CRITERIOS DE DISEÑO

Para el diseño de una instalación de riego con aguas depuradas,



a fin de minimizar la posible aparición de problemas, es conveniente contar con dicha experiencia y tener en cuenta los siguientes factores:

- Prefiltrado: si existen niveles importantes de sólidos en suspensión, a fin de proteger los equipos de impulsión.
- Filtros de arena: eliminación de partículas en suspensión que puedan sedimentarse en la instalación de riego. Elección de un diámetro efectivo y coeficiente de uniformidad apropiados.
- Filtros de malla: elección de diámetro de filtración (n° menos de una décima parte del diámetro de paso del emisor. Selección de emisores: diámetro de paso, tipo de flujo, longitud del canal, capacidad de vaciado (autoflushing).
- Elección de tuberías primarias y piezas especiales: evitar materiales que puedan ser susceptibles de corrosión teniendo en cuenta las aguas utilizadas.

PRÁCTICAS DE MANEJO

Prevención de obturaciones de tipo químico y biológico (sistemas de riego localizado).

- Control de pH del agua de riego (acidificación): $\text{pH} < 7,5$ (ó 6 si $\text{Fe} > 0,2$ ppm).
- Utilizar abonos compatibles entre sí y con el agua de riego.
- Terminar los riegos con aplicaciones de ácido o agua sin abono.

TRATAMIENTOS PREVENTIVOS

Limpiezas a presión de la instalación con periodicidad mínima semestral.

Limpiezas con ácido de la instalación con periodicidad máxima anual.

Estanques: si el agua se almacena por periodos largos, prevenir proliferación de algas (tratamientos de S04Cu o permanganato).



Algunas de estas prácticas implican la necesidad de supervisión por personal técnico cualificado.

CARACTERÍSTICAS AGRONÓMICAS Y SANITARIAS DE LAS AGUAS DEPURADAS DE GRAN CANARIA

III.1 CARACTERÍSTICAS SANITARIAS

Como se expuso en el capítulo II, la caracterización de las aguas depuradas puede realizarse con diferentes criterios y pueden exigirse distintos niveles de calidad en función del reuso previsto.

Actualmente, la desinfección utilizada en la totalidad de las depuradoras gestionadas por este Consorcio consiste en la cloración, lo que permite suponer que dichos límites establecidos por el Proyecto de Real Decreto no resultan difíciles de alcanzar, excepto para los cultivos cuya parte comestible pueda entrar en contacto directo con el agua tratada y se consuma crudo por el hombre, por lo que no se recomienda el riego con aguas depuradas de estas especies agrícolas.

III.2. CARACTERÍSTICAS AGRONÓMICAS

Los problemas que se pueden presentar en cultivos de regadío no son consecuencia exclusiva de la calidad química del agua (Porta,1994). Por tanto, para realizar una correcta evaluación agronómico debe estudiarse:

- La calidad química del agua, estudiando los parámetros pH, C.E., contenido en cationes y aniones, y contenido de elementos tóxicos y de contaminantes.
- Las características del suelo a regar, desde el punto de vista físico y químico.



- El cultivo y variedad a regar.
- El método de riego y el manejo del agua.

La siguiente tabla recoge los niveles agronómicos de las aguas depuradas y aguas blancas de algunas de las zonas donde se practica la reutilización. Se indican además, a modo de referencia, las directrices publicadas por la FAO para la interpretación de las aguas de riego (FAO 1987).

Tabla 1. DIRECTRICES PARA INTERPRETAR LA CALIDAD DE LAS AGUAS PARA RIEGO

Problema Potencial	Unidades	Grado de restricción de Uso Ligera a Moderada
Salinidad (afecta disponibilidad de agua para el cultivo)		
CE	dS/m	0.7 - 3.0
SS	mg/l	450 - 2000
Infiltración (reduce infiltración; evaluar usando a la vez la CE y el SAR)		
SAR = 0 - 3 y Eca	=	0.7 - 0.2
= 3 - 6	=	1.2 - 0.3
= 6 - 12	=	1.9 - 0.5
= 12 - 20	=	2.9 - 1.3
= 20 - 40	=	5.0 - 2.9
Toxicidad de Iones Específicos (afecta cultivos sensibles)		
- Sodio (Na)		
riego por superficie	SAR	3 - 9
riego por aspersión	me/l	> 3
- Cloro (Cl)		
riego por superficie	me/l	4.0 - 10
riego por aspersión	me/l	> 3
- Boro (B)	mg/l	0.7 - 3.0
- Oligoelementos		
Varios (afecta cultivos sensibles)		
- Nitrógeno (NO₃-N)	mg/l	5.0 - 30
- Bicarbonato (NO₃) (aspersión foliar únicamente)	me/l	1.5 - 8.5
- pH		Amplitud Normal: 6.5 - 8.4

* Para niveles inferiores a los indicados se considera que el agua no tiene ninguna restricción al uso y para niveles superiores se considera como riesgo severo.



**Tabla 2. ANÁLISIS DE AGUAS DEPURADAS Y AGUAS BLANCAS DE CADA UNA DE LAS ZONAS EN REUTILIZACIÓN**

PARÁMETROS	TELDE		ARUCAS		FIRGAS		TEROR		MOYA		GÁLDAR	
	A.D. *	A.B.	A.D.	A.B.	A.D.	A.B.	A.D.	A.B.	A.D.	A.B.	A.D.	A.B.
pH	7	8,2	7,8	7,4	7,3	6,3	7,4	8,5	7,7	7,7	7,7	6,1
CE (dS/m)	2,6	2	2,2	1	1,3	1,3	1,2	1	2	0,7	1,6	0,4
Sales Totales (mg/l)	1.530	1.300	1.896	870	1.045	1.121	974	712	1.722	532	1.347	340
Ca ²⁺ (Calcio) en mg/l	44	21	82	22	29	100	21,6	33	73,5	44	37,6	7
Mg ²⁺ (Magnesio) en mg/l	43	40	81	26	38	61	26,4	30	75	24	38,4	9
Na ⁺ (Sodio) en mg/l	420	337	304	131	188	78	166	130	270	64	216,3	118
K ⁺ (Potasio) en mg/l	39	17	100,8	12	42	14	82	14	53,4	7	73,8	4
NH ₄ ⁺ (Amonio) en mg/l	4	-	6,5	-	0,5	-	23	-	1	-	20,4	0,1
CO ₃ H ⁻ (Bicarbonatos) en mg/l	154	343	647	378	175	790	286	255	455,4	314	459	43
CL ⁻ (Cloruros) en mg/l	580	300	390	108	153	50	172	120	151	56	209	159
SO ₄ ⁼ (Sulfatos) en mg/l	182	196	159	41	115	16	113,5	129	177	23	125,7	0,2
PO ₄ ⁻ (Fosfatos) en mg/l	38	-	51,5	-	60	-	45,8	-	69	-	58,4	0,02
NO ₃ ⁻ (Nitratos) en mg/l	60	-	54,3	-	240	-	56,6	-	360	-	82,2	1,7
NO ₂ ⁻ (Nitritos) en mg/l	4,3	-	23	-	0,6	-	4,3	-	1,3	-	23,6	0,02
SAR	10,9	10,5	5,7	4,7	5,4	1,4	5,6	4	5,3	2	6,3	7,2

A.D. = Agua Depurada. A.B.= Agua Blanca.

* Para la zona de Telde se ha considerado el agua procedente de la depuradora de Barranco Seco, ya que los altos índices de salinidad del agua de la E.D.A.R. de Telde desaconsejan su uso provisionalmente hasta la mejora de la misma.

En el caso de aguas blancas no existen datos fiables de los siguientes parámetros: Amonio, Nitratos, Nitritos y Fosfatos.

CAPÍTULO IV

EJEMPLOS PRÁCTICOS DE MANEJO DEL AGUA DEPURADA

IV.1. INTRODUCCIÓN. LIMITACIONES A LA APLICABILIDAD DE ESTOS EJEMPLOS.

A continuación se presentan una serie de ejemplos de manejo de agua depurada de diferentes E.D.A.R., con las condiciones agroclimáticas y de cultivo establecidas en cada uno de los supuestos.

Evidentemente, estos ejemplos tienen solamente carácter demostrativo y están sujetos a limitaciones derivadas de las premisas establecidas en cada uno de ellos. No deben, por tanto, tomarse como recomendaciones generales. La evaluación de las diferentes situaciones que puedan presentarse en el cultivo deberán ser tenidas en cuenta en cada caso concreto por personal cualificado.

Cuando se utilicen aguas depuradas para el riego de especies agrícolas, es particularmente recomendable realizar análisis foliares periódicos que aseguren la correcta nutrición mineral de las plantas. Si este seguimiento del cultivo resulta siempre aconsejable, existe una serie de factores derivados del uso de estas aguas que lo hacen aún más importante:

- La variabilidad temporal de los contenidos de nutrientes aportados por el agua depurada.
- La diferente asimilabilidad de las formas iónicas en que pueden presentarse los nutrientes.
- Otros factores, como la posible alteración de las propiedades físicas y químicas de los suelos, riesgos de creación de fitotoxidades, etc., cuyas consecuencias ya han sido detalladas.



IV.1.1. VALORES MEDIOS DE LOS PARÁMETROS DEL ANÁLISIS

Con objeto de simplificar la presentación de los cálculos se han considerado los valores medios de los diferentes parámetros analizados incluidos en la tabla IV.1. Para una correcta planificación del abonado sería recomendable disponer de la analítica del agua depurada de forma periódica.

Las recomendaciones de abonado que se presentan en los ejemplos se han calculado para el caso más desfavorable, es decir, riego cien por cien con agua depurada. En el caso de aguas muy salinas, como se ha explicado en el apartado II.3.1., sería recomendable la mezcla con aguas de mejor calidad o bien, la realización de riegos alternos.

IV.1.2. ESTIMACIÓN DE LA CANTIDAD DE NITRÓGENO ASIMILABLE APORTADO POR LAS AGUAS DEPURADAS

Las cantidades de nitrógeno en forma de amonio son muy bajas (normalmente por debajo de 10 ppm). Este hecho, unido a su posible pérdida parcial hacia la atmósfera en forma de amoniaco gaseoso (si el pH del agua alcanza un valor entre 7,5 y 8,5), lleva a considerar su valor despreciable para el cálculo de estos ejemplos de abonado. Esta consideración no será generalizable, ya que algunas depuradoras aportan la mayor parte del nitrógeno en esta forma.

Las cantidades de nitrógeno aportadas en forma de nitratos son directamente disponibles para la planta. Las aportadas en forma de nitrito sufrirán en las condiciones de este ejemplo un proceso de nitratación microbiana tan rápido que se suman a las anteriores como aporte de nitrógeno directamente asimilable.

Se considera, por tanto, que el aporte de nitrógeno asimilable por parte del agua depurada para este ejemplo es el total de la suma de nitratos y nitritos, hecho no generalizable al depender de los diversos factores ya descritos.

IV.1.3. ESTIMACIÓN DE LA CANTIDAD DE FÓSFORO ASIMILABLE APORTADO POR LAS AGUAS DEPURADAS

Para el ejemplo se considera que toda la cantidad de fósforo de la tabla se refiere a fosfato en forma de PO_4H_2 y PO_4H_2^- en concentraciones similares (el pH del agua es 7,5).



El pH ligeramente ácido del suelo y su salinidad (pese a los moderados contenidos en calcio activo) permiten despreciar las pérdidas de fósforo asimilable por retrogradación cálcica, por lo que todo el fósforo del análisis se considerará asimilable.

IV.1.4. ESTIMACIÓN DE LA CANTIDAD DE POTASIO ASIMILABLE APORTADO POR LAS AGUAS DEPURADAS

La cantidad de potasio inmovilizado por los microorganismos del suelo y retrogradado (los suelos del ejemplo no tienen arcillas expansibles) también se considera despreciable a efectos de cálculo, por lo que se considera que todo el potasio aportado por las aguas depuradas es directamente asimilable.

IV.1.5. ESTIMACIÓN DE LA DOSIS DE RIEGO

En cada uno de los ejemplos mencionados se incluye una estimación de la fracción de lavado necesaria a aplicar para evitar la progresiva salinización de los suelos.

Evidentemente, cuando se riega con agua depurada, no se debe considerar en los cálculos de abonado el aporte de nutrientes de la fracción de lavado.

IV.2. EJEMPLO 1: CULTIVO DE PLATANERA EN LA ZONA DE GÁLDAR REGADO CON AGUA DE LA DEPURADORA DE GUÍA-GÁLDAR

IV.2.1. DESCRIPCIÓN DE LAS CONDICIONES DEL CULTIVO

En este ejemplo trataremos del riego de un cultivo de platanera de la variedad "Pequeña Enana" implantado en un marco real de 2 x 2.5 m (2.000 matas/ha) en un suelo de sorribà de textura franca y sin limitaciones de permeabilidad ni problemas de fertilidad. El riego se realiza por goteo con emisores de 4 l/h dispuestos en aros de 5 emisores cada uno alrededor de las plantas. Se estiman las necesidades hídricas del cultivo en unos 10.000 m³ / ha año. El abonado se realiza por fertirrigación con abonos simples. La producción media anual es de 70.000 kg/ha año centrada en los meses de noviembre a enero.

En este ejemplo el cultivo se ha regado con agua blanca procedente de la estación desaladora de la zona y se plantea su cambio al agua depurada procedente de la E.D.A.R. de Guía-Gáldar.



Cultivo de platanera regado con agua depurada (zona Noroeste-Gáldar)

IV.2.2. COMPARACIÓN DE CALIDADES DE AGUA DEPURADA Y AGUA BLANCA DE LA ZONA

La Tabla IV.2.1. muestra los valores medios de los parámetros de análisis del agua blanca y depurada. Se observa que el agua blanca se caracteriza por un contenido en sales muy bajo (CE: 0.45 dS/m) y un claro predominio del sodio entre los cationes (SAR: 7.2). Estas características hacen que exista un riesgo de moderado a alto de pérdida de permeabilidad del suelo por dispersión de las arcillas, por lo que su uso se debería acompañar de la aportación extraordinaria de calcio tanto en el programa de fertirrigación como en la adición periódica de yeso agrícola. Por otro lado, el bajo valor de la CE no hace previsible problemas de estrés de tipo salino en las plantas ni de necesidades de dosis de lavado de sales del suelo.

La aportación de elementos fertilizantes de esta agua es prácticamente nula.

El agua depurada por el contrario presenta valores moderadamente altos de CE (1.63 dS/m) que hacen que se deban adoptar precauciones para evitar la acumulación de sales en el suelo. Sin embargo, el peligro de disminución de permeabilidad del suelo por dispersión de arcillas es mucho menor con esta agua (CE: 1.63 dS/m; SAR: 6.3). En los cationes y aniones se observa un alto contenido

de carbonatos que obliga a la adopción de medidas preventivas de formación de depósitos y un nivel de cloruros también elevado (5.9 meq/l.) que aconseja utilizar dosis de lavado para evitar la aparición de síntomas de toxicidad en las plantas.

TABLA IV.2.1. COMPARACIÓN DE CALIDADES DE AGUA BLANCA Y AGUA DEPURADA. -EJEMPLO 1.

	Depurada (mg/l)	Blanca (mg/l)
pH	7.69	6.12
CE (dS/m)	1.63	0.45
Ca ²⁺	37.58	7.00
Mg ²⁺	38.42	9.00
Na ⁺	216.33	118.00
K ⁺	73.83	4.00
NH ₄ ⁺	20.37	0.15
CO ₃ H ⁻	459.08	43.00
Cl ⁻	209.00	159.00
SO ₄ ⁼	125.67	0.19
PO ₄ ⁻	58.42	0.02
NO ₃ ⁻	82.17	1.70
NO ₂ ⁻	23.65	0.02
Fe	0.45	0.11
Al	0.04	0.01
SAR	6.29	7.20
SAR calc.	5.93	6.95
Capacidad fertilizante		
N	41.93	0.51
P205	43.66	0.01
K20	88.60	4.80

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Universitaria. Memoria Digital de Canarias. 2003

IV.2.3. RECOMENDACIONES DE FERTILIZACIÓN

Los niveles habituales de fertilización del cultivo se presentan en la Tabla IV.2.2. Las aportaciones totales teóricas proporcionadas por el agua depurada para una dotación de riego de 10.000 m³/ha/año serían:



$N: 10.000 \text{ m}^3/\text{ha año} \times 1.000 \text{ l/m}^3 \times 41.93 \text{ mg/l} \times 10^{-6} \text{ kg/mg} = 419 \text{ kg N/ha año.}$

$P2O5: 10.000 \times 1.000 \times 43.66 \times 10^{-6} = 43.66 \text{ kg P2O5:/ha año.}$

$K2O: 10.000 \times 1.000 \times 86.6 \times 10^{-6} = 886 \text{ kg K2O:/ha año.}$

(kg/ha/año)	Niveles habituales de fertilización	Aportación teórica agua depurada
N	400-500	419
P2O5	100-150	437
K2O	700-1.200	886

Como se observa, el agua depurada aportaría prácticamente la totalidad de los nutrientes necesarios para el abonado del cultivo. Sin embargo, hay que tener en cuenta las limitaciones señaladas en el apartado IV.1 respecto a la disponibilidad de los diferentes nutrientes. Por estas razones convendría mantener cierto nivel de fertilización del cultivo que, desde una perspectiva conservadora, podría limitarse al 40% del abonado nitrogenado y al 25% del abonado potásico habituales, pudiendo eliminarse el abonado de tipo fosfórico. Sin embargo, habría que controlar periódicamente el estado nutricional del cultivo por medio de análisis foliares a fin de detectar la aparición de posibles deficiencias.

En cuanto a las enmiendas de fertilidad de suelo, podrían limitarse con este agua a una aportación anual de 2 kg. de yeso agrícola por mata y a las medidas habituales de incorporación de residuos vegetales al suelo. En cualquier caso, habría que vigilar la evolución del pH de la solución del suelo y si éste se sitúa en límites claramente alcalinos, proceder a la aportación de azufre y/o aplicación foliar de micronutrientes.

IV.2.4. RECOMENDACIONES DE RIEGO

Al cambiar del riego con agua blanca a agua depurada, deberán introducirse dosis de lavado a fin de evitar la acumulación



de sales en la zona regada. Teniendo en cuenta la conductividad eléctrica del agua depurada (1.6 dS/m) y el tipo de riego (goteo), estas dosis serían:

a) Para mantener niveles de conductividades de extracto saturado inferiores a 2.0 dS/m, dosis de lavado del 10%.

b) Para mantener niveles de conductividades de extracto saturado inferiores a 1.5 dS/m, dosis de lavado del 20%.

La adopción de una u otra dependerá de las preferencias de manejo del agricultor. Hay que tener en cuenta que estas dosis de lavado se aplican sobre el total de las necesidades hídricas del cultivo y no sobre las dotaciones de riego habituales, ya que, aunque el agua blanca de la zona presenta un valor de C.E. muy bajo, su contenido en nutrientes casi nulo hace necesario aportar una gran cantidad de abonos en cada riego, por lo que la diferencia de conductividades entre las soluciones de riego con agua blanca y con agua depurada no serían tan grandes.

IV.2.5. MEDIDAS DE MANTENIMIENTO DE LA INSTALACIÓN DE RIEGO

NECESIDADES DE FILTRADO

Tal como se indicó en el apartado II.3.2, para el empleo de agua depurada en instalaciones de riego localizado es preciso un sistema de filtrado que elimine los materiales en suspensión que puedan producir obturaciones. El sistema de filtrado debe incorporar filtros con arena de diámetro efectivo entre 0.9- 1.2 mm y coeficiente de uniformidad igual o inferior a 1.5. Los filtros de malla deben tener un número de mesh equivalente a la décima parte del diámetro de paso del emisor utilizado. Los filtros de arena deben limpiarse por retrolavado cuando la diferencia de presión entre entrada y salida sea superior a 0.5 atmósferas.

MEDIDAS DE ACIDIFICACIÓN DEL AGUA DE RIEGO.

Dado el alto contenido de carbonatos del agua depurada (75 meq/l.) deben tomarse medidas preventivas de acidificación del agua de riego, manteniendo el pH por debajo de 6.5 por medio de la adición de ácidos nítrico, fosfórico o sulfúrico, que eviten la aparición de depósitos en la instalación.



ELECCIÓN DE ABONOS COMPATIBLES

Dado el carácter básico del agua depurada deberá evitarse la utilización en el mismo riego de combinaciones de abonos susceptibles de producir precipitaciones, tales como la mezcla de sulfatos y/o fosfatos con sales de calcio. En general se recomienda que las aplicaciones de nitrógeno se hagan combinando ácido nítrico con nitratos. El potasio podrá incorporarse con nitrato potásico o sulfato potásico (soluble), mientras que, como se ha dicho, podrá prescindirse en principio de aplicar fósforo.

TRATAMIENTOS PREVENTIVOS DE MANTENIMIENTO DE LA INSTALACIÓN

Dado el peligro potencial de aparición de obturaciones por depósitos químicos y/o biológicos en la instalación, deberá procederse a la limpieza de la misma con ácidos y agua a presión con periodicidad al menos semestral. Dichas prácticas de limpieza deben ser realizadas por personal especializado. Asimismo, si el agua depurada se almacena en estanques, son de aplicación las medidas preventivas mencionadas en el apartado III.2.

IV.3. EJEMPLO 2. CULTIVO DE TOMATE EN LA ZONA DE TELDE REGADO CON AGUAS PROCEDENTES DE LA DEPURADORA DE BARRANCO SECO

IV.3.1. DESCRIPCIÓN DE LAS CONDICIONES DE CULTIVO

Se trata de una plantación de tomate en invernadero de malla de una variedad de tipo "long life" para exportación. La plantación se hace en la segunda semana de agosto y se prevé continuar la zafra hasta la segunda semana de mayo. La plantación se realiza en un marco de doble fila de plantas por cada lateral de riego. La separación entre los laterales es de 2,25 m. y la distancia entre goteros, de 0,5 m.

Las plantas se riegan por goteo con emisores de caudal de 4 l/h dispuestos en un lateral con dos filas de plantas (2 plantas/gotero). La frecuencia de riego varía entre un riego diario y un riego cada tercer día con dotaciones de riego entre 1 y 2 litros por planta y día según las condiciones climatológicas. Las necesidades globales de riego se estiman en unos 5.000 m³/ha para todo el ciclo.

Como abonado de fondo se aplican dos camiones/ha de



estiércol y 5.000 kg/ha de yeso agrícola. La fertilización de cobertura se aplica por fertirrigación utilizando nitrato amónico, nitrato potásico, nitrato cálcico, ácido nítrico y fosfato monoamónico. La producción estimada es de 120.000 kg/ha.

IV.3.2. COMPARACIÓN DE CALIDADES DE AGUA DEPURADA Y AGUA BLANCA DE LA ZONA

La tabla IV.3.1. muestra de forma comparativa los resultados de los análisis químicos del agua blanca de la zona y del agua depurada a suministrar. Se observa que en ambas el catión más abundante es el sodio, aunque existen diferencias en el contenido de aniones, predominando el cloruro en el agua depurada y el bicarbonato en el agua blanca. Existen también contenidos importantes de cloruros en esta última. El pH del agua blanca es claramente alcalino mientras que el del agua depurada es básicamente neutro. La conductividad eléctrica es ligeramente más elevada en el caso del agua depurada (2.6 frente a 2.0 dS/m), mientras que ambos tipos de agua presentan valores de SAR similares (10.9 y 10.5).

Agronómicamente, el agua blanca de la zona, por sus valores altos de pH y contenido de bicarbonatos, presenta un riesgo importante de obturación de emisores en sistemas de riego localizado, por lo que para su uso deberán tomarse medidas preventivas a este respecto



Cultivo de tomate regado con agua depurada (Zona Sur - Telde)



como la acidificación del agua de riego, y los tratamientos periódicos de ácidos concentrados y limpiezas a presión. Estos mismos factores restringen el tipo de fertilizante a usar siendo especialmente problemática la aportación de abonos de tipo cálcico. Por contra, en el agua depurada, aún debiéndose tomar también medidas preventivas, este riesgo es menor.

En cuanto a los peligros a medio y largo plazo de sodificación y pérdida de permeabilidad de los suelos, el agua blanca presenta un riesgo moderado, mientras que para el agua depurada, debido a su mayor conductividad eléctrica, este riesgo es menor.

La principal desventaja del agua depurada frente al agua blanca de la zona es la limitación en cuanto a cantidad de abonos a aplicar por fertirrigación dado su mayor contenido en sales que se traduce en un alto valor de conductividad eléctrica, aunque esta limitación se compensa parcialmente con su contenido en sustancias fertilizantes que reducen la necesidad de dicha aportación.

Tabla IV.3.1.

Parámetros	Concentración (mg/l.)	
	Depuradora	Blanca
pH	706	8.20
CE (dS/m)	2.6	2.0
Ca ²⁺	3	21
Mg ²⁺	41	40
Na ⁺	408	337
K ⁺	38	17
NH ₄ ⁺	4.3	-
CO ₃ H ⁻	148	343
Cl ⁻	567	300
SO ₄ ⁼	178	196
PO ₄ ⁻	39	-
NO ₃ ⁻	55	-
NO ₂ ⁻	25	-
SAR	10.9	10.5



IV.3.3. RECOMENDACIONES DE FERTILIZACIÓN

La aportación de elementos nutritivos debida al agua depurada (suponiendo una dotación global de riego de 5000 m³/ha) junto a una estimación de las aportaciones habituales de fertilización del cultivo se presenta en la tabla IV.3.2.

N: 5000 m³/ha x 24 mg/l N x 1.000 l/m³ x 10⁻⁶ mg/kg = 120 kg N/ha.

P2O5: 5.000 x 29 x 1.000 x 10⁻⁶ = 145 mg P2O5 ha.

K2O: 5.000 x 46 x 1.000 x 10⁻⁶ = 230 mg K2O ha.

Tabla IV.3.2. NECESIDADES DE FERTILIZACIÓN Y APORTACIÓN TOTAL TEÓRICA DEL AGUA DEPURADA.

(kg/ ha/año)	Niveles habituales de fertilización	Aportación teórica agua depurada *
N	450	120
P2O5	180	145
K2O	540	230

* En nuestro ejemplo, si los niveles de fertilización con agua blanca fueran los indicados en la tabla anterior, habría que reducir la estimación de aportación de nutrientes del agua depurada toda vez que el agua blanca de la zona contiene niveles de potasio (20 mg/l K₂O), lo que, a su vez, induce a sospechar que también puede contener niveles apreciables de nitrato, aunque no se dispone de este parámetro analítico.

IV.3.4. PLAN RECOMENDADO DE FERTILIZACIÓN

Dadas las aportaciones teóricas del agua depurada, y considerando las limitaciones citadas en el primer apartado de este capítulo, al utilizar agua depurada podríamos modificar el plan de abonado de la finca teniendo en cuenta las siguientes consideraciones:

- Se pueden reducir las aportaciones de nitrógeno, fósforo y potasio, debido al alto contenido de estos elementos en el agua depurada.
- Dado el alto valor de conductividad eléctrica inicial del agua depurada (2.5 dS/m), debemos cuidar de que el valor final (tras la



aportación de abonos) de este parámetro no sobrepase en ningún caso los 2.9 dS/m. Esta limitación obligará en algún caso a aumentar las dotaciones de riego.

- El menor valor de pH y de contenido en carbonato del agua depurada con respecto al agua blanca hacen que las medidas preventivas de obturación de emisores utilizadas sean suficientes para el agua depurada. En cualquier caso, éstas deberán incluir el control de pH del agua de riego y el tratamiento periódico con ácidos y limpieza a presión, al menos al finalizar la zafra. Asimismo deberá utilizarse con preferencia abonos de reacción ácida.
- Por el alto contenido en sodio del agua depurada debemos prestar especial atención a fertilización cálcica.

EJEMPLO DE MODIFICACIÓN DE ABONADO:

Consideraremos un plan de abonado estándar para agua blanca e introduciremos algunas modificaciones, para el uso de agua depurada. Consideramos aquí sólo la época de plena producción del cultivo (octubre-marzo). Para los periodos iniciales (de entrada en producción) y finales del cultivo deberían modificarse las recomendaciones de la manera habitual. Estimamos que en este período de máxima producción aportaremos aproximadamente el 60 % de las necesidades del cultivo, o sea aproximadamente 270 kg/ha de N, 110 kg/ha de P205 y 325 kg/ha de K20, lo que representaría de media unos 13 kg/ semana/ha de N, 5 kg/semana/ha de P205 y 16 kg/semana/ ha de K20.

IV.4. EJEMPLO 3. CULTIVO DE PAPAS EN LA ZONA NORTE REGADOS CON AGUA DE LA E.D.A.R. DE MOYA

IV.4.1. DESCRIPCIÓN DE CONDICIONES DE CULTIVO

Se plantea en este ejemplo el riego con agua depurada procedente de la E.D.A.R. de Moya de un cultivo de papas en la misma zona. El cultivo se planta en octubre con una densidad de siembra del saco (25 kg) por cada 200 m² (1.250 kg papa semilla/ha). El riego se realiza por aspersión con agua blanca de la zona con una frecuencia determinada por las condiciones climáticas (un riego cada siete días cuando no llueve). El consumo hídrico estimado del cultivo es de 5.000 m³ / ha. El abonado se realiza de forma tradicional aportando aproximadamente 1 kg de (12, 12, 17) por kg de semilla en plantación y otro kg de NO₃NH₄, por kg de semilla en cobertera.





Cultivo de papas regado con agua depurada (zona Tafira)

La duración prevista del ciclo es de 120 días y el rendimiento esperado de 20.000 kg/ha.

IV.4.2. Comparación de calidades de agua depuradas y agua blanca de la zona.

La Tabla IV.4.1. compara los valores medios de los principales parámetros del análisis químico de las aguas blanca y depurada. No existen prácticamente diferencias en cuanto a pH (aproximadamente 7.7) pero sí en los valores de conductividad eléctrica y contenido de cationes. El agua blanca tiene una conductividad baja (0.7 dS/m) y un valor de SAR cercano a 2, lo que supone riesgos ligeros de disminución de la permeabilidad del suelo con el riego. El anión predominante es el bicarbonato (5 meq/l.) que, unido a su pH básico (7.7), puede ocasionar precipitaciones y obturación en sistemas de riego localizado. El valor de pH de equilibrio es de 7.77, muy próximo al del agua.

El agua depurada tiene valores más altos tanto de conductividad eléctrica (2.0 dS/m) como de contenido de sodio, cloruros y sulfatos. El valor de pH de equilibrio es de 7.5, por lo que, de utilizarse en sistemas de riego localizado, debería procederse a su acidificación. El contenido en cloruros y sodio de este agua (5.1 y 12.1 meq/l



respectivamente) hace que se puedan potencialmente ocasionar daños por quemadura de hojas cuando se utiliza para regar por aspersión cultivos moderadamente sensibles a estos iones, tales como la papa

(kg/ha)	Niveles habituales de fertilización	Aportación Teórica agua depurada
N	60 - 100	215
P ₂ O ₅	20 - 60	135
K ₂ O	25 - 75	165

y la vid. Llama la atención el alto contenido en nitratos de este agua cuyo origen está siendo investigado por el Consorcio Insular. Cabe esperar, sin embargo, la mejora inmediata de la conductividad eléctrica, una vez que el agua de abasto de Moya proceda de la desalinizadora de Arucas-Moya.

IV.4.3. RECOMENDACIONES DE FERTILIZACIÓN

En casos como el presente es difícil realizar recomendaciones de fertilización ya que las necesidades de riego dependen de las precipitaciones de lluvia habidas durante el período de crecimiento de la planta. A efectos de puro cálculo consideraremos el caso en que la pluviometría de la zona cubra la mitad de las necesidades de agua del cultivo siendo necesario aportar el resto por medio del riego. En este caso:

Volumen de agua depurada aplicada: 2.000 m³/ha.
 N: $2.500 \text{ m}^3/\text{ha} \times 1.000 \text{ l/m}^3 \times 86 \text{ mg/l} \times 10^{-6} \text{ kg/mg} = 215 \text{ kg N/ha}$.
 P₂O₅: $2.500 \times 1.000 \times 54 \times 10^{-6} = 135 \text{ kg P}_2\text{O}_5/\text{ha}$.
 K₂O: $2.500 \times 1.000 \times 66 \times 10^{-6} = 165 \text{ kg K}_2\text{O /ha}$.

Como vemos, en este supuesto la aportación de nutrientes del agua depurada cubriría con creces las necesidades del cultivo. Sin embargo, los problemas podrían surgir de la disponibilidad de estos nutrientes a lo largo de todo el ciclo, ya que cuando lloviera no se estarían aportando nutrientes. Por esta causa sería recomendable no eliminar totalmente la aportación de fertilizantes en plantación y realizar o no el abonado de cobertera según el agua depurada aplicada hasta entonces.



Tabla IV.4.1. COMPARACIÓN DE CALIDADES DE AGUA BLANCA Y AGUA DEPURADA

(mg/l)	Depurada	Blanca
pH (uds)	7.75	7.74
CE (dS/m)	2.04	0.69
Ca ²⁺	74	44
Mg ²⁺	76	24
Na ⁺	280	64
K ⁺	55	7
NH ₄ ⁺	1	-
CO ₃ H ⁻	447	314
Cl ⁻	181	56
SO ₄ ⁼	149	23
PO ₄ ⁻	72	-
NO ₃ ⁻	375	-
NO ₂ ⁻	1	-
Fe	0.14	-
Al	0.04	-
SAR	5.45	1.93
Capacidad fertilizante		
N	86	-
P205	54	-
K20	66	8.4

IV.4.4. RECOMENDACIONES DE RIEGO

La papa es un cultivo moderadamente sensible a la salinidad no produciéndose reducciones de rendimiento con conductividades de extracto saturado del suelo de hasta 1.7 dS/m y limitándose las pérdidas a un 10% cuando dicha conductividad aumenta hasta 2.5 dS/m. Para reducir las posibles pérdidas potenciales a un nivel máximo del 5% deberíamos mantener la CE del extracto en niveles inferiores a 2 dS/m. Si la conductividad del agua depurada es de 2.04 dS/m se precisarían dosis de lavado del orden de un 25% para riegos de baja frecuencia y de un 15% para riegos de alta frecuencia. Al no poder fijar dicha frecuencia dada la dependencia de las lluvias, por ser dependiente de las lluvias, estimamos que la dosis de lavado debe ser aproximadamente de un 20%. Si se tratase de un año lluvioso, podríamos sin embargo prescindir del lavado, considerando que las sales del suelo son arrastradas en profundidad por las lluvias.



Como se ha dicho, el contenido de cloruros y sodio del agua depurada puede ocasionar daños por quemadura de las hojas cuando se riega por aspersión. En cualquier caso, y con respecto al uso de agua depurada para el riego por aspersión, recordamos que desde el punto de vista sanitario no es recomendable su uso, debiendo en todo caso desinfectarse por cloración el agua y no aplicar este tipo de riego en las proximidades de viviendas ni en cultivos para consumo en crudo.

IV.4.5. MEDIDAS DE MANTENIMIENTO DE LA INSTALACIONES DE RIEGO

Al tratarse de una instalación de riego por aspersión a alta presión, no son de prever problemas de manejo en el uso del agua depurada, salvo los ya citados de tipo sanitario.



BIBLIOGRAFIA

- Abdal, M.S.; Al-Qallaf, A.M., 1993. *Water management for the greening of Kuwait*. Acta-Horticulturae. N° 335, 95-100. 1993.
- Al-Ama, M.S.; Nakha, G.F., 1995. *Wastewater reuse in Jubail, Saudi Arabia*. Water-research-Oxford. 29: 6, 1579-1584. 1995
- Armon, R.; Dosoretz, C.G.; Azov, Y.; Shelef, G., 1994. *Residual contamination of crops irrigated with effluent of different qualities: a field study*. Water Science and Technology, 30: 9, 239-248. 1994.
- Asano, T.; Leong, L.Y.C.; Rigby, M.G.; Sakaji, R.H., 1992. *Evaluation of the California Wastewater reclamation criteria using enteric virus monitoring data*. Water Science & Technology, 26, 7-8, 1523-1524.
- Asano T.; Mujeriego, R., 1994. *Water quality guidelines for wastewater reuse*. Jornadas Técnica: Biosólidos y aguas depuradas como recursos (95-110). Sant Feliu de Guixols, Costa Brava, Gerona, Septiembre 1994.
- Barbagallo, S.; Biondi, M.; Destri-Nicosia, O. 1988. *Irrigation experiments with partially treated wastewater*. Part II. Rivista di Ingegneria Agraria. 19: 4, 214-223.
- Bole, J.B.; Gould, W. D.; Carson, J. A., 1985. *Yield of forrages irrigated with wastewater and the fate of added nitrogen-15- labeled fertilizer Nitrogen*. Agron. J. 77:715-719. 1985.
- Broadbent, F.E.; Reisenauer, H.M. 1990. *Destino de los componentes del agua residual en el suelo y en los acuíferos. Riego con agua residual municipal regenerada*. 333-357 Trad. Mujeriego. 1990.
- Cajuste, L.J.; Carrillo, R.G.; Cota, E.G.; Laird, R.J. 1991. *The distribution on metals from wastewater in the mexican valley of Mezquital*. Water-Air and Soil pollution. 57, 58: 763-771. 1991.
- Conserv II, 1995. *Water conservation program effluent disposal system Conserv II. A cooperative water conservation effort by the city of Orlando, Orange County and the agricultural community*. Internal Document, 1995.
- Croce, F.; Pollara, J.R.; Oliveri, R.L.; Torregrossa, M.V.; Valentino, L. 1992. *The Carini experimental satation for wastewater reuse in agriculture*. Preliminari indications. Water Sci. and Tech. 26: 9-11, 2617-2620. 1992.
- Crook, J., 1991. *Quality criteria for reclaimed water*. Wat. Sci. Tech. Vol. 24, N° 9, pp 109-121. 1991.



- Flaig, E.G.; Mansell, R.S.; Yuan, T.L. 1987. *Phosphate retention in deep sand irrigated with secondary municipal waste water*. Proc. Soil and Crop Science Society of Florida. 46, 97–102. 1987.
- Foy, C.D., 1984. *Physiological effects of hydrogen, aluminum and manganese toxicities in acid soil*. Adams (Ed). Soil acidity and liming. Agronomy 12: 57–98. 1984.
- Held, A., 1995. *Recuperación del amoníaco de aguas con concentraciones altas de nitrógeno*. Residuos, nº27, Nov.–Dic. 1995.
- Hopmans, P; Stewart, HTL; Flin, DW; Hillman, TJ. 1990. *Growth, biomass production and nutrient accumulation by seven tree species irrigated with municipal effluent at Wodonga, Australia. Management of water and nutrient relations to increase forest growth*. Proc of a seminar held 19–22 Oct 1987 at Canberra, Australia. Forest Ecology and Management. 1990, 30: 1–4, 203–211. 1990.
- Johnson, W.D. 1991. *Dual distribution systems: the public utility perspective*. Wat. Sci. Tech. Vol. 24, No. 9, pp 343–352, 1991.
- Kamprath, E.J., 1970. *Exchangeable aluminum as criteria for liming leached mineral soils*. Soil Sci Soc. Am. Proc. 34: 252–254. 1970.
- Kanarek, A.; Aharoni, A; Michail, M., 1993. *Municipal wastewater reuse via soil aquifer treatment for non-potable purposes*. Water Science and Technology. 27:7–8, 53–61. 1993.
- Lowgren, M.; Sundbland, K.; Wittgren, H.B. 1988. *Wastewater treatment or resource management: a comparison between centralized and on site systems*. Journal of environmental management. 28: 1, 71–84. 1988.
- Lund, L.J.; Wachtel, J.K. 1979. *Denitrification potential of soils, in nitrate in effluents from irrigated lands*. Final Report USA national Science Foundation, University of California.
- Maag, 1989. *Denitrification losses from soil receiving pig slurry or fertilizer*. In Nitrogen in organic wastes applied to soils. Academic press, London, England. 1989.
- Mass, EV; Hoffman, G.J., 1977. *Crop sal tolerance. Current assessment*. J. irrigation and drainage division, ASCE 103 (IRZ): 115–134. Proc. paper 12993. 1977.
- Mass, E.V., 1984. *Salt tolerance of plants. The handbook of plant science in agriculture*. Christie Ed. CRC Press, Boca Raton. Florida, 1984.
- Marecos–do–Monte, H.; Silva–e–Sousa, M.; Silva–Neves, A. 1989. *Effects on soil and crops of irrigation with primary and secondary effluents*. Water–Science and Technology. 21: 6/7, 427–434. 1989.
- Maurer, M.A.; Davies, F.S.; Graetz, D.A., 1985. *Reclaimed wastewater*

- irrigation and fertilization of mature «Redblush» grapefruit trees on Spodosols in Florida. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 120: 3, 394–402, 1995.
- Mujeriego, R.; Sala, L., 1991a. *Golf course irrigation with reclaimed wastewater*. *Water Sci. and Tech.* 24: 9, 161–171.
- Mujeriego, R.; Asano, T., 1991. *Wastewater Reclamation and Reuse*. Vol. 24, N°9. *Water Science and Technology*. 1991.
- Neilsen, G.H.; Stevenson, D.S.; Fitzpatrick, J.J.; Brownlee, C.H., 1989. *Yield and plant nutrient content of vegetables trickle-irrigated with municipal wastewater*. *HortScience*. 1989, 24: 2, 249–252. 1989.
- Munson, R.D.; Murphy, L.S., 1986. *Factors affecting crop response to phosphorus*. p. 9–24. *Phosphorus for Agriculture, A situation analysis*. Potash and phosphate Institute, Atlanta, Ga. 1986.
- Neilsen, G.H.; Stevenson, D.S.; Fitzpatrick, J.J.; Brownlee, C.H., 1991. *Soil and sweet cherry responses to irrigation with wastewater*. *Canadian Journal of Soil Science*. 71: 1, 31–41. 1991.
- Nurizzo, C.; Mezzanotte, V. 1994. *Resources, Conservation and Recycling*. 10:4, 301–316. 1994.
- Palacios, M.P.; Del-Nero, E.; Rodríguez, F., 1996. *La reutilización de aguas depuradas en la producción de alfalfa en Canarias*. Congreso de la S.E.E.P. Logroño. 1996.
- Payne, J.F.; Overman, A.R.; Allhands, M.N.; Lesseman, W.G., 1989. *Operational characteristics of a wastewater irrigation system*. *Soil and Water Div. ASAE*. Vol. 5(3) 355–360. 1989.
- Pardo, M.T.; Guadalix, M.E., 1990. *Phosphate sorption in allophanic soils and release of sulphate, silicate and hydroxyl*. *Journal of Soil Science*, 41, 607–612. 1990.
- PRECAN 2000, 1995. *Programa de actuaciones en materia de regadíos en las Islas Canarias hasta el año 2000 (Avance)*. Gobierno de Canarias. Consejería de Agricultura y Alimentación. 1995.
- Rigola, 1989. *Tratamiento de aguas industriales: Aguas de proceso y residuales*. Colección «Productica». Ed. Marcombo. I.S.B.N. 84–267–0740–8. 1989.
- Rhoades, J.D.; Merrill, S.D., 1976. *Assesing the suitability of water for irrigation: theoretical and empirical approaches*. *FAO Soils Bull.* 31: 69–110. 1976.
- Sharpley, A.N.; Carter, B.J.; Wagner, B.J.; Smith, S.J.; Cole, E.L., 1991. *Impact of long term swine and poultry manure applications on soil and water resources in eastern Oklahoma*. *Okla. State Univ, Tech. Bull.* T169, 51 pp. 1991.
- Sharpley, A.N.; Halvorson, A.D., 1994.

- The management of Soil Phosphorus. Availability and its impact on surface water quality. Soil processes and water quality.* ISBN: 0-87371-980-8. 1994.
- Stanier, R.Y.; Adelberg, E.A.; Ingraham, J.L., 1986. *Microbiología. Versión española actualizada.* 4ª ed. Reverté. 1986.
- Thompson, R.B.; Ryden, J.C.; Lockyer, D.R. 1987. *Fate of nitrogen in cattle slurry following surface application or injection to grassland.* J. Soil Sci. 38: 689-700. 1987.
- Thompson, R.B., 1989. *Denitrification in slurry-treated soil: Occurrence at low temperatures, relationship with soil nitrate and reduction by nitrification inhibitors.* Soil Biol. Biochem. 21: 875-882. 1989.
- WHO, 1989. *Health guidelines for the use of wastewater in agriculture and aquaculture.* WHO Technical report series 778, World Health Organization, Geneva, Switzerland. 1989.
- Zecri, M.; Koo, R.C.J., 1991. *Effects of reclaimed wastewater on leaf and soil mineral composition and fruit quality of citrus.* Proc. of the Florida State Horticultural Society. publ. 1991, 103: 38-41. 1991.
- Zecri, M.; Koo, R.C.J., 1994. *Treated municipal wastewater for citrus irrigation.* Journal of plant nutrition. 17: 5, 693-708. 1994.

