

**GUÍA TÉCNICA
PARA EL REÚSO
DE AGUAS
RESIDUALES EN
LA AGRICULTURA**

AUTORIDADES

MINISTRO DE MEDIO AMBIENTE Y AGUA DE BOLIVIA

Ing. Carlos René Ortuño Yáñez

DIRECTOR GENERAL DE LA COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA

MBA Roberto Ramírez de la Parra

VICEMINISTRO DE RECURSOS HÍDRICOS Y RIEGO DEL MMAyA

Ing. Braulio Nelson Huaylla Cáceres

VICEMINISTRO DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO DEL MMAyA

Ing. Julia Verónica Collado Alarcón

DIRECTOR DEL INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA (IMTA)

Dr. Felipe Arreguín Cortés

COORDINACIÓN DE RIEGO Y DRENAJE DEL IMTA

Dr. Nahún H. García Villanueva

SUBCOORDINACIÓN DE CONTAMINACIÓN Y DRENAJE AGRÍCOLA DEL IMTA

Dr. José Antonio Quevedo Tiznado

EQUIPO DE TRABAJO

Elaboración y Redacción

M.C. Olga Xóchilt Cisneros Estrada (Especialista del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua).

Ing. Luis Fernando Guzmán Bejarano (Especialista de GIZ/Bolivia)

Ing. Luis Marka Saravia (Especialista del VRHR/MMAyA-Bolivia).

Coordinación y Supervisión

GIZ Ing. Humberto Gandarillas

GIZ Dr. Jürgen Baumann

Equipo Técnico de Revisión

VRHR/MMAyA Ing. Sergio Marcelo Álvarez Carrión

GIZ Ing. Hernán Montaña Gonzales

ESTE DOCUMENTO ES PARTE DEL PROYECTO DE COOPERACION TRIANGULAR MÉXICO – BOLIVIA – ALEMANIA “REUSO DE AGUAS RESIDUALES EN RIEGO AGRÍCOLA” EJECUTADO POR:

Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Dag-Hammarskjöld – Weg 1 – 5

56760 Eschborn, Alemania

Web: www.giz.de

Agencia Mexicana de Cooperación Internacional al Desarrollo (AMEXCID)

Plaza Juárez #20, Col. Centro, del. Cuauhtémoc.

Distrito Federal CP. 06010

Web: www.amexcid.gob.mx

Ministerio de Medio Ambiente y Agua (MMAyA)

Calle Capitán Castrillo N° 434

La Paz, Bolivia

Web: www.mmaya.gob.bo

Comisión Nacional del Agua (CONAGUA)

Av. Insurgentes Sur # 2416,

Col. Copilco el Bajo, Deleg. Coyoacán CP. 04340

Ciudad de México

Web: www.conagua.gob.mx

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA)

Blvd. Paseo Cuauhnáhuac 8532, Progreso,

62550 Jiutepec, Morelos, México

Web: www.imta.gob.mx

SEGUNDA EDICIÓN, NOVIEMBRE, 2018.

GUÍA TÉCNICA PARA EL REÚSO DE AGUAS RESIDUALES EN LA AGRICULTURA

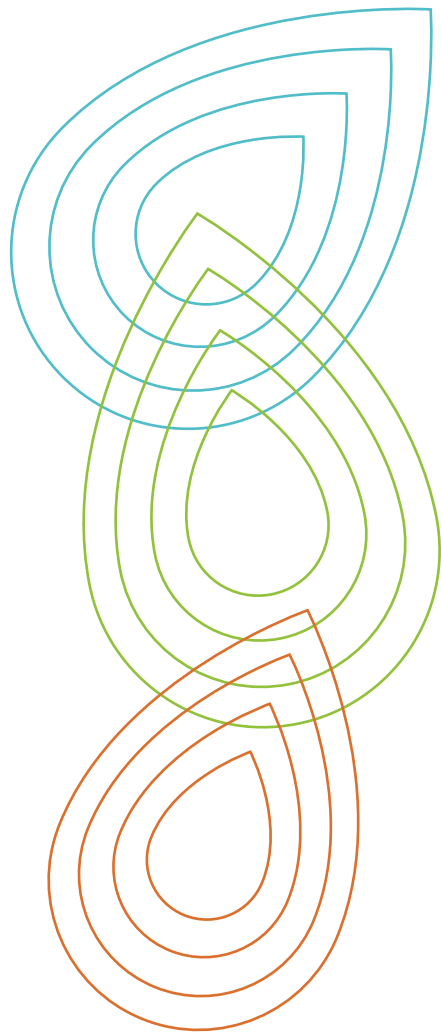
ISBN: 4-1-550-18 P.O.

Editor: Proyecto de Cooperación Triangular México Bolivia y Alemania.

Autores: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua y el Ministerio de Medio Ambiente y Agua de Bolivia

Edición y Fotografías: IMTA y GIZ en Bolivia

Descriptores: Tratamiento de Agua, Reúso de Agua, Contaminación, Recursos hídricos.



GUÍA TÉCNICA PARA EL REÚSO DE AGUAS RESIDUALES EN LA AGRICULTURA



Evo Morales Ayma
Presidente del Estado Plurinacional de Bolivia



Índice

Presentacion	1
1. Introducción	3
2. Aguas residuales y su reúso en la agricultura	7
2.1 Calidad del agua de riego	12
2.2 ¿Cómo evaluar e interpretar la calidad del agua de riego?	13
2.3 Tratamiento complementario previo al reúso del agua en la parcela	17
2.3.1 Desinfección con Rayos Ultravioleta (UV)	18
2.3.2 Desinfección con ozono	20
2.3.3 Micro y ultrafiltración con tecnología de membranas.....	21
2.3.4 Galerías filtrantes (Qanat)	23
2.4 El suelo y sus riesgos de afectación por el riego con aguas residuales	27
2.4.1 Salinización	29
2.4.2 Pérdida de infiltración de los suelos	31
3. Manejo de aguas residuales en la parcela.....	37
3.1 Selección de cultivos.....	37
3.1.1 Selección de cultivos de acuerdo con la calidad del agua.....	37
3.1.2 Selección de cultivos considerando los riesgos de salud pública.....	45
3.2 Análisis de tecnología de producción de cultivos de Bolivia y sugerencias de mejora para disminuir riesgos por el uso de las aguas residuales.	50
3.3 Recomendaciones para abordar el tema de los riesgos en zonas con reúso	62
3.3.1 Recomendaciones para enfrentar los riesgos en zonas de reúso que producen cultivos que se comen crudos	62
3.3.2 Recomendaciones para enfrentar los riesgos en zonas de reúso que producen cultivos que se consumen cocidos	64
3.3.3 Recomendaciones para enfrentar los riesgos en zonas de reúso que producen cultivos para industrializar antes de su consumo.....	65
3.4 Técnicas de manejo del cultivo que evitan el contacto del producto con el agua de riego .	66
3.4.1 Siembra en surcos anchos.....	66
3.4.2 Siembra en camas altas.....	67
3.4.3 Colocación y ubicación de la semilla	68
3.4.4 Uso de acolchados plásticos	69



3.4.5 Entutorado o envarado.....	71
3.5 Técnicas de manejo del agua que mejoran la calidad sanitaria de productos durante su desarrollo y antes de su cosecha.....	72
3.5.1 Riego alterno	72
3.5.2 Supresión del último riego antes de la cosecha	73
3.6 Selección del método de riego para el aprovechamiento de aguas residuales	74
3.6.1 Método de riego por gravedad en surcos y melgas	78
3.6.2 Método de riego presurizado	80
4. Cuidados a la salud y calidad del producto para zonas con reúso.....	83
4.1. Recomendaciones para trabajadores agrícolas, antes, durante y después del riego	88
4.1.1 Uso de prendas de protección	88
4.1.2 Higiene durante la jornada de trabajo y después de ella	90
4.1.3 Recomendaciones generales para preservar la salud de las familias.....	91
4.2 Recomendaciones generales para mejorar la calidad sanitaria de los productos de consumo.	92
Siglas y Definiciones.....	95
Referencias bibliográficas	99



índice tablas

Tabla 1. Beneficios y riesgos en el uso de las aguas residuales.....	10
Tabla 2. Riesgos de enfermedad por el uso de aguas residuales, según grupo expuesto	11
Tabla 3. Directrices para interpretar la calidad de las aguas para riego.....	14
Tabla 4. Tolerancia relativa de algunos cultivos al sodio intercambiable	15
Tabla 5. Tolerancia relativa al boro de algunos cultivos	16
Tabla 6. Remoción de patógenos a través de microfiltración.	21
Tabla 7. Factores que afectan la infiltración del agua en el suelo	32
Tabla 8. Clasificación de la permeabilidad de suelos.....	33
Tabla 9. Grado de restricción de uso de agua de riego por presencia de sólidos	34
Tabla 10. Límites de contaminantes de grasas y aceites para aguas residuales especificados en la normativa Mexicana	35
Tabla 11. Grado de restricción del agua de riego por presencia de iones tóxicos.	45
Tabla 12. Clasificación de riesgos de salud asociados a cultivos y prácticas de manejo.....	46
Tabla 13. Límites de contaminantes patógenos (NOM-001-SEMARNAT-96.).....	48
Tabla 14. Estrategias generales para enfrentar el problema de riesgos en zonas con reúso	62
Tabla 15. Características de los acolchados plásticos y sus usos.....	69
Tabla 16. Tiempo (días) de supervivencia de patógenos en suelo, agua y cultivos.....	73
Tabla 17. Factores que favorecen la elección del método de riego	75
Tabla 18. Factores a considerar en la selección del método de riego	75
Tabla 19. Condicionantes para diferentes sistemas de riego cuando se use agua residual.....	76
Tabla 20. Guía para la selección del método de riego	77
Tabla 21. Clasificación del riesgo de infección en zonas con reúso, según el tipo de prácticas agrícolas realizadas	84
Tabla 22. Patógenos que pueden estar presentes en las aguas residuales y enfermedad que producen	85
Tabla 23. Enfermedades por patógenos, formas de transmisión y medidas preventivas	86
Tabla 24. Recomendaciones para reducir riesgos de salud en consumidores de productos agrícolas.....	88

RESOLUCIÓN MINISTERIAL

Nº 583

La Paz, 12 OCT 2018

VISTOS:

La Nota Interna NI/MMAYA/VRHR/DGCRH/UPHCA N° 0332/2018 de 16 de agosto de 2018 del Viceministerio de Recursos Hídricos y Riego (VRHR), remite Informe Técnico referente a la "Guía técnica de reuso de aguas residuales en la agricultura"; y todo cuanto ver convino y se tuvo presente.

CONSIDERANDO:

Que el Artículo 33 de la Constitución Política del Estado, establece que las personas tienen derecho a un medio ambiente saludable, protegido y equilibrado. El ejercicio de éste derecho debe permitir a los individuos y colectividades de las presentes y futuras generaciones, además de otros seres vivos, desarrollarse de manera normal y permanente.

Que los Numerales 9, 10 y 16 del Artículo 299 de la citada Norma Suprema, determina que entre las competencias que se ejercerán de forma concurrente por el nivel central del Estado y las entidades territoriales autónomas, se tienen Proyectos de agua potable y tratamiento de residuos sólidos, Proyectos de Riego y Agricultura.

Que la Ley N° 1333 Ley del Medio Ambiente de 27 de abril de 1992, tiene por objeto la protección y conservación del medio ambiente y los recursos naturales, regulando las acciones del hombre con relación a la naturaleza y promoviendo el desarrollo sostenible con la finalidad de mejorar la calidad de vida de la población.

Que el Artículo 3° de siglas y definiciones del Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica aprobada mediante Decreto Supremo N° 24176 de 8 de diciembre de 1995, de la Ley N° 1333 del Medio Ambiente de 27 de abril de 1992, define a las "Aguas Residuales Crudas: como aquellas procedentes de usos domésticos comerciales, agropecuarios y de procesos industriales, o una combinación de ellas, sin tratamiento posterior a su uso; Aguas Residuales Tratadas: aguas procesadas en plantas de tratamiento para satisfacer los requisitos de calidad en relación a la clase de cuerpo receptor a que serán descargadas; y Reuso: utilización de aguas residuales tratadas que cumplan la calidad requerida por el presente Reglamento".

Que el Numeral 4) del Parágrafo I del Artículo 14 del Decreto Supremo N° 29894 de 7 de febrero de 2009 que instituye la Estructura Organizativa del Órgano Ejecutivo del Estado Plurinacional, establece entre las atribuciones de las Ministras y Ministros de Estado dictar normas administrativas en el ámbito de su competencia.

Que el Inciso c) del Artículo 97 del citado Decreto Supremo, dispone entre las atribuciones del Viceministerio de Recursos Hídricos y Riego, promover normas técnicas, disposiciones reglamentarias e instructivos para el buen aprovechamiento y regulación del sector de riego, manejo integral de cuencas, y proponer por conducto regular proyectos de leyes y otras disposiciones para el sector.

Que la Ley N° 745 de 5 de octubre de 2015 de la Década del Riego 2015-2025 tiene como objeto declarar el Periodo 2015 al 2025, la Década del Riego "Hacia el Millón de Hectáreas", en el marco de la Agenda Patriótica del Bicentenario, con la finalidad de promover la producción agropecuaria a través de inversiones del nivel central del Estado y las entidades territoriales autónomas, orientadas al desarrollo del riego en el país.





Estado Plurinacional
de Bolivia



Que el Artículo 2 de la citada Ley define como eje estratégico de la agenda de la "Década del Riego Hacia el Millón de Hectáreas": la reutilización de aguas residuales para riego, tratadas de acuerdo a normativa vigente.

Que la Ley N° 786 de 9 de marzo de 2016, aprueba el Plan de Desarrollo Económico y Social (PDES) 2016-2020, en el Marco del Desarrollo Integral para Vivir Bien. Su contenido se formula a partir de los trece (13) pilares de la Agenda Patriótica del Bicentenario 2025, que se constituye en el Plan General de Desarrollo establecido en el Numeral 9) del Artículo 316 de la Constitución Política del Estado.

Que el PDES establece en el pilar 6 del sector riego la Meta 4: Sistemas productivos óptimos: planteando como resultado al 2020 alcanzar 700 mil Ha. de superficie con riego, con participación de las Entidades Territoriales Autónomas y del sector privado con una ampliación de 338 mil Ha. hasta el 2020, comprendiendo la producción de arroz bajo riego inundado, sistemas de riego revitalizados, riego tecnificado de hortalizas y frutales, sistema de riego con represas, riego a través de reúso de aguas residuales, cosecha de agua y proyectos multipropósito.

Que mediante Resolución Ministerial N° 008 de 12 de enero de 2017, se aprueba el Plan Sectorial de Desarrollo Integral (PSDI) del Ministerio de Medio Ambiente y Agua, el cual para el Sub-sector de Riego establece Lineamientos Estratégicos y Programas, estableciendo el Programa de Reúso de Aguas Residuales para Riego Agrícola desde donde se implementaran proyectos piloto de tratamiento de aguas residuales para reúso agrícola y se desarrollará instrumento y estudios enfocados en la reutilización de las aguas residuales.

CONSIDERANDO:

Que por Informe Técnico INF/MMAYA/VRHR/DGCRH/UPHCA N° 0106/2018 de 25 de mayo de 2018 del Vi, se concluye que la "Guía técnica para el reúso de aguas residuales en la agricultura", marca esfuerzos para el reúso seguro de aguas residuales tratadas y no tratadas para riego agrícola, proporcionando una alternativa para su reúso seguro desde el ámbito de las buenas prácticas agropecuarias y reduciendo el riesgo de contaminación de los productos y de los productores que incide directamente en la salud de la población.

Que por Informe Técnico INF/MMAYA/VRHR/DGCRH N° 0193/2018 de 16 de agosto de 2018 del VRHR, considerando las metas y resultados del sector saneamiento establecido en el PDES, que establece como acción "Incrementar la cobertura de servicios de alcantarillado y saneamiento en el área urbana con enfoque de reúso (cultivo restringido y/o energía) y corresponsabilidad de la población en el uso y mantenimiento adecuado del sistema", y conforme argumentos técnicos y aplicaciones de la "Guía técnica para el reúso de aguas residuales en la agricultura", recomienda su aprobación a través de una Resolución Ministerial.

Que el Informe Técnico INF/MMAYA/VAPSB/DGAPAS/UPyGF N° 0343/2018 de 1° de octubre de 2018 del Viceministerio de Agua Potable y Saneamiento Básico (VAPSB), conforme a las atribuciones del VAPSB considera que la "Guía técnica para el reúso de aguas residuales en la agricultura" se constituye en un documento que orienta al agricultor en la aplicación de medidas de protección asociadas al enfoque multibarreras, que debe ser reforzada en el tema de tratamiento de aguas residuales toda vez que es la base para la realización del reúso.

Que el Informe Legal INF/MMAYA/DGAJ/UAJ N° 645/2018 de 4 de octubre de 2018 emitido por la Dirección General de Asuntos Jurídicos, concluye que la "Guía técnica para el reúso de aguas residuales en la agricultura", guarda relación con los lineamientos del PDES, establecidos en la Constitución Política del Estado, haciendo énfasis en criterios de protección a la salud de los agricultores y consumidores con base en estudios y referencias de la Organización Mundial de la Salud (OMS); a tal efecto su aprobación no vulnera





Estado Plurinacional
de Bolivia



ninguna normativa legal, por cuanto se recomienda su aprobación por la Máxima Autoridad Ejecutiva de este Portafolio de Estado.

POR TANTO:

El Ministro de Medio Ambiente y Agua, designado mediante Decreto Presidencial N° 3059 de 23 de enero de 2017, en ejercicio de las facultades establecidas en el Numeral 4 Parágrafo I del Artículo 175 de la Constitución Política del Estado y el Numeral 22) Parágrafo I del Artículo 14 del Decreto Supremo N° 29894 de 7 de febrero de 2009 de la Estructura Organizativa del Órgano Ejecutivo del Estado Plurinacional.

RESUELVE:

PRIMERO.- Aprobar la "Guía técnica para el reuso de aguas residuales en la agricultura", que en Anexo forma parte integrante de la presente Resolución Ministerial.

SEGUNDO.- El Viceministerio de Recursos Hídricos y Riego, queda encargado de la publicación, ejecución y cumplimiento de la presente Resolución Ministerial.

Regístrese, comuníquese, cúmplase y archívese.

Dr. Carlos René García Delacruz
Ministro General de Asuntos Jurídicos
Ministerio de Medio Ambiente y Agua

Carlos René Artuño Yañez
Viceministro de Recursos Hídricos y Riego
Ministerio de Medio Ambiente y Agua



CROY/CGDD/RJG/cavch
c.c. Arch.
H.R. 18166





Presentación

El Ministerio de Medio Ambiente y Agua (MMAyA) presenta la **Guía Técnica para el Reúso de Aguas Residuales en la Agricultura**, aprobada mediante Resolución Ministerial 583/2018. Esta Guía se enmarca en lo establecido en el Plan de Desarrollo Económico Social PDES 2016-2020, así como en la Agenda Patriótica del Bicentenario.

La reutilización de agua tratada para riego es una práctica habitual en el país, se constituye en una estrategia para garantizar la producción agropecuaria, principalmente en zonas con déficit hídrico. Sin embargo, es necesario implementar medidas y buenas prácticas para disminuir el riesgo que representa el uso aguas residuales para riego, aspecto que la presente Guía aborda desde un enfoque de riego.

El reúso de agua tratada para riego, enfocado desde una perspectiva de gestión integrada de recursos hídricos, integra objetivos multisectoriales relacionados al agua potable y saneamiento, al riego para la producción agropecuaria, además de la preservación y cuidado de la calidad de agua.

Asimismo, la Guía orienta al técnico y productor de campo a desarrollar acciones en forma más responsable, incorporando los cuidados y recomendaciones necesarios durante el proceso de reutilización de agua tratada para riego.

Es un documento que ayuda en la formulación de proyectos de pre-inversión de riego con aguas tratadas, área que es nueva en el país pero que toma mayor relevancia. Sus contenidos fueron trabajados con apoyo del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) con profesionales bolivianos del Ministerio de Medio Ambiente y Agua (MMAyA) y la Cooperación Alemana al Desarrollo, a través de la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) y su Proyecto de Cooperación Triangular entre México Alemania y Bolivia.

Carlos René Ortuño Yáñez
Ministro de Medio Ambiente y Agua
Estado Plurinacional de Bolivia



Introducción

A nivel mundial, factores como el acelerado crecimiento demográfico, la contaminación de los cuerpos de agua, tanto superficiales como subterráneos, y los cambios en los patrones climáticos han generado que la sociedad busque el aprovechamiento de todos los recursos hídricos disponibles, con el objetivo de producir alimentos y materia prima para la industria, recurriendo incluso a fuentes alternas como las aguas residuales.

En Bolivia, como muchos otros países en desarrollo, el agua residual generada en las ciudades se reúsa (cruda o tratada) para el riego agrícola que se practica en zonas áridas y semiáridas, específicamente en la Región Andina, en los departamentos de Oruro, Potosí y la Paz, donde la agricultura y ganadería se realizan a nivel de comunidades campesinas con tecnología y sistemas de producción tradicionales, cultivándose papa, oca, quinua, haba, trigo y cebada; así como en la Región Sub Andina, en los departamentos de Cochabamba, Chuquisaca y Tarija, que se caracterizan por la importancia de la producción agrícola, cultivándose principalmente maíz, trigo, frutales, hortalizas y cultivos forrajeros como la alfalfa, cebada y avena (Moscoso y Romero, 2002).

En estas regiones, estudios recientes han identificado 105 centros poblados donde se reutiliza el agua residual para agricultura; sin embargo, tal práctica carece de un marco regulatorio, pues actualmente no se tiene una norma de reúso de aguas residuales y tampoco se tienen reglamentos o guías técnicas de diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) con fines de reúso que contribuyan a disminuir los riesgos de salud implícitos que conlleva la reutilización de éstas aguas (MMAyA, 2013).

Debido a la importancia que reviste para la salud el reúso de las aguas residuales, diversas organizaciones internacionales se han pronunciado sobre el tema; entre ellas la Organización Mundial de la Salud (OMS), la cual, buscando fomentar entre los países el uso regulado y planeado del aprovechamiento de las aguas residuales en agricultura y disminución de riesgos de salud pública, ha publicado en cuatro volúmenes lo que constituyen los marcos de referencia para el desarrollo de: Políticas y aspectos regulatorios (Vol. I), el uso de aguas servidas en agricultura (Vol. II), el uso de las aguas servidas y excretas en acuicultura (Vol. III) y el uso de excretas y aguas grises en agricultura (Vol. IV).

El enfoque "Multibarreras", detallado por las guías de la OMS (OMS,2006) establece que el reúso de las aguas residuales debe ser abordado desde distintos ángulos que se complementan, a fin de reducir los riesgos de salud pública, entre los que se pueden mencionar: el propio tratamiento de las aguas residuales domésticas,



la restricción de cultivos, el uso de técnicas de aplicación del riego que eviten la contaminación de productos, el manejo de los tiempos entre el último riego y la cosecha, la educación en salud para el fomento y adopción de prácticas de higiene, de aceptación y participación en las campañas para la aplicación de vacunas y desparasitación para la población expuesta. Es precisamente en el marco de todo lo antes expuesto que se desarrolló la presente **“Guía de uso de aguas residuales en riego agrícola”** para Bolivia, la cual busca ser una herramienta técnica para el personal de las diversas instituciones que trabajan en temas de tratamiento y reúso de agua, para apoyarlos en los procesos de gestión de proyectos en esa materia; su contenido fortalecerá las capacidades técnicas y apoyará la elaboración de proyectos de reúso de aguas tratadas, reduciendo los riesgos potenciales de contaminación de suelos, cuerpos de agua superficiales y acuíferos y buscando principalmente preservar la salud de los trabajadores agrícolas que entren en contacto con el agua y las cosechas, así como de los consumidores finales de los productos que tengan su origen en éstas zonas de reúso.





Aguas residuales y su reúso en la agricultura

La creciente población demográfica, la generación de aguas residuales (AR) provenientes de las distintas actividades económicas, el avance en la implementación de sistemas de tratamiento de aguas residuales y los problemas sociales generados por el déficit de agua para abastecer a las ciudades y para el riego agrícola, son elementos clave que posicionan al reúso del agua tratada como el nuevo paradigma del presente siglo.

Entre los objetivos centrales de la Agenda XXI sobre medio ambiente y desarrollo se encuentra relacionado a fomentar el uso racional de las aguas residuales para riego en agricultura, forestación y/o en acuicultura, ya que se consideran prácticas que contribuyen al desarrollo sustentable de los países. Actualmente, a nivel mundial, se estima que existen alrededor de 20 millones de hectáreas regadas con aguas residuales (tratadas, crudas o mezcladas) (Hamilton, *et al*, 2006).

La presión hídrica de la generalidad de las naciones se centra en que el 92% del agua disponible se destina a la agricultura de riego, donde un 56% de esta agua se destina a la producción de alimentos, entre los que destacan la producción de granos y cereales que consume el 27% del agua y la producción de carne y leche que en conjunto consumen el 29%. En este contexto, la perspectiva futura es que al 2050, al menos un 50% del agua que requerirá la agricultura debería ser agua residual, y lo ideal es que ya sea agua tratada, cuyo efluente cumpla los parámetros de calidad del agua para reúso en agricultura, según las distintas normatividades vigentes en los países sobre la materia. Sin embargo, y entre tanto esto no se cumpla, se deberán buscar alternativas que permitan el aprovechamiento de las aguas residuales pero en un marco de manejo adecuado que disminuya los riesgos de salud para los trabajadores agrícolas y para los consumidores principalmente.

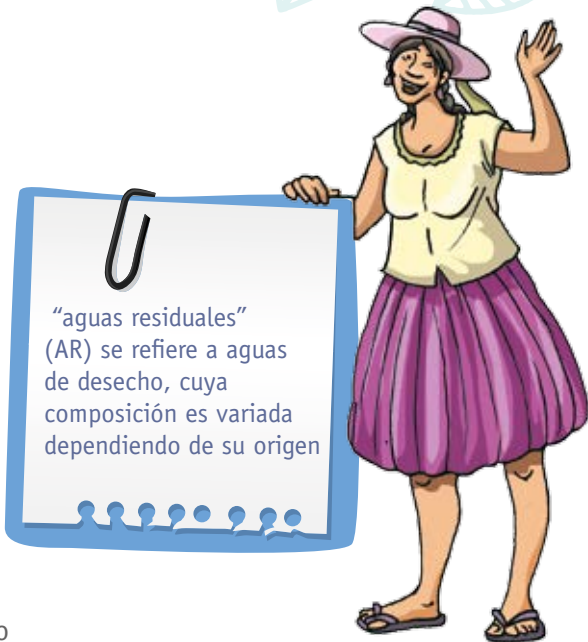
El concepto “aguas residuales” se refiere a aguas de desecho, cuya composición es variada dependiendo de su origen, y clasificándose también en función de esto en: aguas residuales domésticas, municipales, industriales, comerciales, de servicios, agrícolas, pecuarias, y en general, de cualquier otro uso, así como las mezclas de ellas y que son colectadas en la red de alcantarillado, llegando en el mejor de los casos a plantas de tratamiento donde se mejora su calidad con fines de reúso o en el peor escenario son desechadas en cuerpos de agua, convirtiéndose en un problema medio ambiental, que acarrea serias consecuencias ecológicas y sociales.

El vertido de aguas residuales en suelos agrícolas es de larga data. La historia del reúso de aguas residuales en zonas agrícolas se remonta hasta hace más de 2000 años en Grecia. Sin embargo, su práctica se ha generalizado con mayor énfasis durante la segunda mitad del siglo XIX en países como Alemania, Australia, Estados Unidos, Francia, India, Inglaterra, México, Polonia, Sudáfrica, Arabia Saudita, Argentina, Israel, China, Chile, Kuwait, Sudán, Túnez y algunos países de América Latina (Silva *et al* 2008).

Actualmente, el reúso de aguas residuales en la agricultura a pequeña escala ha cobrado importancia en la mayoría de los países en vías de desarrollo o en desarrollo, debido a que constituyen un recurso que

permite preservar la actividad agrícola o pecuaria de pequeños productores rurales periurbanos, para con un recurso que para la mayoría no representa ningún costo y que por su origen, su disponibilidad no depende de la estación del año. Asimismo, ya que su aprovechamiento se hace en la mayoría de los casos sin planeación ni manejo adecuado, se reconoce que tal práctica representa también un importante riesgo de salud pública.

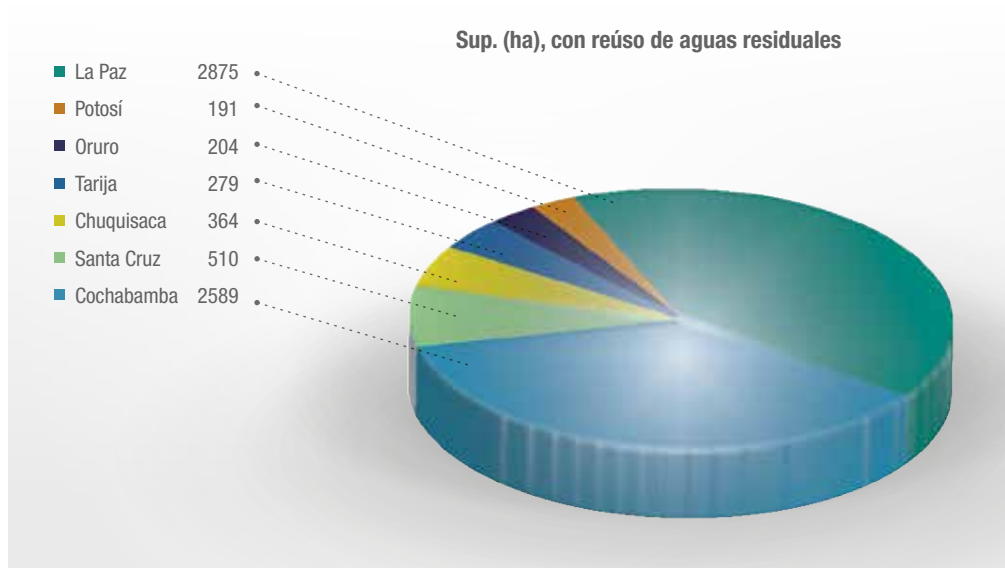
En Bolivia se tiene una superficie aproximada de 7.012 hectáreas regadas con aguas residuales (Ilustración 1). Donde se siembran cultivos forrajeros, frutales y hortalizas (como lechuga, zanahoria y cebolla entre otras). La mayor preocupación inherente a este riego obedece al riesgo de salud pública que representa el consumo de hortalizas producidas con estas aguas, ya que en la mayoría de los casos, el agua residual aprovechada en el riego, no recibe ningún tratamiento, y en una menor proporción el agua proviene de una planta de tratamiento que no funciona adecuadamente (MMAyA, 2012). En cualquiera de los casos anteriores, la calidad bacteriológica y fisicoquímica del agua es mala, lo que incrementa los riesgos a la salud de la población expuesta, dónde los más vulnerables son los niños y niñas.



“aguas residuales”
(AR) se refiere a aguas
de desecho, cuya
composición es variada
dependiendo de su origen

En el año 2002, la OMS reportó que las enfermedades diarreicas constituían la segunda causa de enfermedad en Bolivia, registrándose además 4.167 defunciones por esta causa. Según datos del Sistema Nacional de Información en Salud (SNIS) de Bolivia, en el año 2008, las enfermedades diarreicas agudas representaron la segunda causa de enfermedad en menores de 5 años. Mientras que en niños de 5 a 9 años, las parasitosis por Ascariasis fueron la principal causa de enfermedad. Estos grupos representan el 13 y 12.8 % de la población respectivamente, que en conjunto suman el 25.8%, es decir, un cuarto de la población boliviana (PSD 2010-2020).

Distribución de la superficie agrícola regada con aguas residuales en Bolivia



Fuente: Elaboración propia con datos del 2012 del Sistema de Información de Riego, VRHR-PROAGRO.

En reconocimiento a la dualidad conferida al reúso de las aguas residuales detallada en la tabla 1, por un lado representa un gran potencial de aprovechamiento hídrico y de nutrientes para los cultivos, pero por otro, implica un riesgo innegable de salud pública entre la población expuesta. La Organización Mundial de la Salud (OMS), desde finales de los 80's, se pronunció estableciendo las directrices para regular el reúso de las aguas residuales, a través de límites máximos de contaminantes patógenos presentes en éstas aguas (bacterias, virus, protozoos y helmintos), a fin de preservar la salud, tanto de trabajadores agrícolas como de los consumidores. Sin embargo, los límites establecidos resultaron muy estrictos para la mayoría de los países en vías de desarrollo, y en 2006 esta misma organización publicó las guías de uso de aguas residuales, excretas y aguas grises (OMS, 2006), que actualmente son el referente internacional para el reúso en agricultura. En dichas guías se establece que ya que los Huevos de Helmintos (H.H) son la principal causa de enfermedades parasitarias en humanos, éstos serían considerados como un indicador clave para el reúso, estableciendo como límite ≤ 1 H.H/L en agua residual utilizada para irrigar campos agrícolas.



Tabla 1. Beneficios y riesgos en el uso de las aguas residuales

Beneficios	Riesgos
Las aguas residuales son un recurso hídrico que permite el desarrollo de la agricultura de riego aún en zonas áridas o semiáridas, ya que por su ubicación poseen déficit de agua.	Las aguas residuales, al ser un producto de desecho, contienen agentes patógenos y otros contaminantes. Por lo que esta agua al no ser tratada adecuadamente puede producir problemas al medio ambiente y a la salud.
Las aguas residuales contiene nutrientes en forma disponible para las plantas, por lo que se reducen los costos de producción al no requerir o disminuir considerablemente la aplicación de fertilizantes químicos.	Cuando las aguas residuales son vertidas a cuerpos de agua superficiales pueden provocar contaminación y eutrofización de cuerpos de agua cercanos.
Existen evidencias que muestran que los nutrientes que contienen las aguas residuales mejora la fertilidad de los suelos. Esto se traduce en mejores rendimientos de los cultivos producidos.	Cuando las aguas residuales son utilizadas en el riego agrícola existe el riesgo de cosechar productos con mala calidad sanitaria que incrementen los riesgos de salud de los consumidores.
Las aguas residuales se pueden utilizar para aumentar los volúmenes disponibles para riego en zonas agrícolas que posean déficit para suplir la demanda de los usuarios.	La mezcla de aguas superficiales con aguas residuales podría llevar contaminantes a zonas donde antes no existían, limitando la siembra a ciertos cultivos que no impliquen riesgos a la salud.
Las aguas residuales permiten el desarrollo de pequeñas zonas agrícolas de riego, generando empleo y producción de alimentos.	Si las aguas residuales se aplican sin considerar prácticas de manejo de suelos y agua, se puede producir un incremento de los niveles freáticos y salinización de los suelos, afectando su productividad.

Fuente: Elaboración propia.



La Organización Mundial de la Salud (OMS, 2006) menciona que las vías de transmisión o exposición a patógenos o contaminantes por el uso de aguas residuales son:


- a. Por contacto con el agua residual o cosechas contaminadas (antes, durante o después del riego), donde el grupo expuesto son: trabajadores agrícolas, sus familias, vendedores y comunidades vecinas.
- b. Por inhalación de aerosoles de aguas residuales, donde el grupo expuesto son: trabajadores agrícolas y comunidades vecinas.
- c. Consumo de productos regados con agua residual, donde el grupo expuesto son los consumidores.
- d. Consumo de agua contaminada. Como resultado de actividades relacionadas con agua residual (acuíferos o aguas superficiales, con infiltración de contaminantes químicos, o microorganismos patógenos).
- e. Consumo de animales o sus productos (carne y leche) que han sido contaminados con el agua residual.
- f. Por vectores presentes como resultado del desarrollo y manejo de los esquemas de riego de aguas residuales y lagunas de estabilización.

También la misma OMS, menciona que el reúso de las aguas residuales lleva implícito un riesgo de enfermedad para los diferentes grupos expuestos, es decir aquellos que entran en contacto con estas aguas de manera directa o indirecta, como se resume en la tabla 2.

Tabla 2. Riesgos de enfermedad por el uso de aguas residuales, según grupo expuesto

Grupo expuesto	Riesgos a la salud		
	<i>Infección por parásitos (Helmintos)</i>	<i>Infecciones por bacterias y virus</i>	<i>Infecciones por protozoos</i>
<p><i>Consumidores de productos agrícolas contaminados</i></p> <p>(Niños y adultos mayores) es el grupo más vulnerable, sobre todo cuando los productos han estado en contacto con el agua de riego, como sucede en la mayoría de los casos cuando el riego es por gravedad.</p>	<p>Parasitosis por lombrices.</p> <p>La enfermedad más común que afecta a los humanos es la Ascariasis.</p> <p>Esta enfermedad se produce al consumir productos o bebidas contaminados con huevecillos de áscaris, que es común encontrarlos en las aguas residuales.</p> <p>Esta enfermedad puede no presentar síntomas en el corto plazo, pero a medida que avanza se pueden presentar dolor de estómago, fiebre baja e incluso se pueden expulsar lombrices por las heces.</p>	<p>Enfermedades gastrointestinales (leves, severas o agudas) que se contraen al consumir productos o bebidas contaminados.</p> <p>Las enfermedades más comunes que afectan a los humanos son el cólera, la fiebre tifoidea y la Shigellosis.</p> <p>Uno de los síntomas característicos de estas enfermedades son las diarreas con cólicos abdominales, vómitos y deshidratación.</p>	<p>Enfermedades gastrointestinales que se contraen al consumir alimentos contaminados.</p> <p>La vía más común de contagio se ha dado por el consumo de verduras crudas que han sido regadas con aguas residuales.</p> <p>Las enfermedades más comunes que se presentan en humanos son: la Amebiasis y la Giardiasis.</p> <p>Los síntomas se pueden presentar entre los 7 a 28 días del contagio, y pueden abarcar dolor abdominal, diarrea y pérdida de peso.</p>
<p><i>Agricultores y sus familias</i></p> <p>(Jornaleros-regadores y niños son el grupo más vulnerable). Principalmente cuando entran en contacto con el agua de riego, sin las prendas de protección adecuadas (botas, guantes y tapabocas).</p>			
<p><i>Población de comunidades cercanas</i></p> <p>(Niños y adultos mayores es el grupo más vulnerable), sobre todo cuando en la zona de riego existe riego por aspersión que a través del viento puede diseminar el agua residual, contaminando alimentos o agua de bebida.</p>			

Fuente: Elaboración propia, con datos de las Guías OMS, 2006. Y complementado con información médica sobre las principales enfermedades gastrointestinales.



Como se pudo constatar con la información contenida en las tablas antes presentadas, el uso de las aguas residuales implica riesgos, que por ser un recurso valioso e insustituible sobre todo para los pequeños agricultores asentados en las periferias de las ciudades, pueden ser manejados, en la mayoría de los casos, reduciendo su impacto. Todo proyecto de reúso de aguas residuales debe considerar elementos clave desde su fase de planeación hasta su ejecución, determinando la calidad del agua, la caracterización de suelos, el tipo de cultivo y su tolerancia a ciertos contaminantes, el empleo de prácticas de manejo de suelos, agua y cultivo, que deberán realizarse con el fin de reducir riesgos, incluso con prácticas post-cosecha para mejorar la calidad sanitaria de los productos antes de comercializarse. Adicionalmente, deben implementarse prácticas de higiene de los consumidores y población expuesta. Todas las medidas mencionadas en conjunto contribuirán con el éxito de los proyectos de reúso agrícola.

2.1 Calidad del agua de riego

El concepto de calidad del agua se refiere a las características del agua que puedan afectar su adaptabilidad a un uso específico, en otras palabras, la relación entre la calidad del agua y las necesidades del usuario (Ayers y Westcot, 1987). Cuando se habla de aguas residuales, la calidad del agua de riego puede variar significativamente según su origen (doméstico, industrial, entre otros), y también según el tipo y cantidad de contaminantes presentes en ella.

El aprovechamiento de las aguas residuales con fines de reúso en agricultura supone poner especial atención a la calidad del agua, tanto desde el punto de vista agronómico, como desde el punto de vista microbiológico. Por lo antes mencionado, el elemento clave en el manejo del agua será la determinación previa de su calidad, principalmente con base en su origen y en una verificación a través de muestras de agua. Lo anterior, para analizar parámetros fisicoquímicos y microbiológicos que establezca la normatividad vigente en caso que exista, caso contrario, tomando en cuenta los límites que establece la OMS para el reúso.

Algunos parámetros agronómicos importantes a considerar en la calidad del agua de riego son: Conductividad Eléctrica (CE), cationes: Sodio (Na), Calcio (Ca), Magnesio (Mg) y Potasio (K); aniones: Carbonato (CO_3^{-2}), Bicarbonatos (HCO_3^{-2}), Cloruro (Cl^-), Sulfato (SO_4^{-2}) y Nitrato (NO_3^-), entre otros. Solamente cuando se sospeche que la calidad del agua tiene algún problema relacionado con la presencia de metales pesados, se deberá solicitar la determinación de alguno(s) en específico, con base en el listado de la normatividad vigente o tomando como referencia los más importantes por sus efectos sobre la salud humana, tales como: Arsénico, Cadmio, Cianuros, Cobre, Cromo, Mercurio, Níquel, Plomo y Zinc. Para el análisis, deberán considerarse los límites establecidos dentro de la misma normatividad o las referencias internacionales.

Los parámetros bacteriológicos importantes a considerar en la calidad del agua de riego para cultivos agrícolas son: Coliformes Fecales C.F. (media geométrica/100 ml) y Huevos de Helmintos H.H./L, que son indicadores internacionales utilizados para establecer la contaminación del agua por bacterias y parásitos causantes de enfermedades de tipo gastrointestinal en humanos. La determinación de su presencia o ausencia en el agua de riego es importante, porque éstos afectarán la calidad sanitaria de los productos regados e incrementarán el riesgo de contraer enfermedades en los consumidores de éstos productos.

Un aspecto más de la importancia de determinar la calidad del agua de riego radica principalmente en que ésta puede afectar las características físicas de los suelos, como su permeabilidad y los puede degradar. Por ejemplo: por la acumulación de sales, afectando con ello el principal patrimonio de los agricultores. Además, una mala calidad del agua también puede afectar el rendimiento potencial de los cultivos regados, disminuyendo con ello el ingreso que los productores obtengan de la actividad agrícola.



2.2 ¿Cómo evaluar e interpretar la calidad del agua de riego?

La calidad del agua de riego se evalúa desde el punto de vista agronómico, considerando la salinidad, la sodicidad y la toxicidad. Es necesario evaluar la concentración de sales en el agua, ya que la práctica del riego puede favorecer la concentración de sales en el suelo, favorecidas por las condiciones climatológicas sobre todo donde se presentan altas temperaturas, ya que la evapotranspiración en el sistema suelo-planta disminuye la humedad del suelo, pero prácticamente no elimina sales, por lo que la solución se hace más salina a medida que el suelo se seca. Además, al concentrarse las sales en el perfil del suelo, algunas de estas sales alcanzan su máximo de solubilización y precipitan, retirando de la solución del suelo algunos cationes y alterando la proporción original de éstos. Esto ocurre con las sales de calcio de baja solubilidad, lo que provoca un aumento del porcentaje de sodio intercambiable (PSI) que afecta la estructura del suelo.

Normalmente, se utiliza a la Conductividad Eléctrica como parámetro para evaluar la salinidad del agua de riego. La sodicidad del agua de riego se evalúa utilizando la Relación de Adsorción de Sodio (RAS). Un alto contenido de sodio en el agua de riego puede inducir elevados índices de PSI, que pueden llevar a la pérdida de estructura del suelo por dispersión o hinchamiento de los agregados.

La toxicidad del agua de riego se evalúa utilizando la determinación de los iones cloro, boro y sodio, ya que muchos cultivos son sensibles a la toxicidad de éstos, cuando las raíces del cultivo los absorben del agua de riego y llegan a las hojas de la planta donde se acumulan, afectando la función de fotosíntesis por el daño que presentan las hojas, y reflejándose en problemas de desarrollo y productividad del cultivo.

Ayers y Westcot, 1987, mencionan las directrices para interpretar la calidad del agua de riego que resultan muy útiles para seleccionar los cultivos que se pueden establecer con base en los grados de restricción que presentan las agua para su uso. Por ejemplo: si el agua de riego tiene una CE de <0.7 dS/m se pueden regar casi todos los cultivos, excepto aquellos muy sensibles a sales. Por otro lado, si la CE se encuentra en el rango de 0.7 a 3.0 dS/m, sólo se recomienda sembrar aquellos cultivos que tengan buena a moderada tolerancia a salinidad (Tabla 3).

Tabla 3. Directrices para interpretar la calidad de las aguas para riego

Parámetro	Unidades Ninguno	Grado de restricción para su uso			
		Ligero	Moderado	Severo	
Salinidad $CE_w^{(1)}$		dS/m	<0.7	0.7 — 3.0	>3.0
TDS		mg/l	<450	450 — 2000	>2000
TSS		mg/l	<50	50 — 100	>100
RAS	0 — 3	meq/l	>0.7 EC_w	0.7 — 0.2 EC_w	<0.2 EC_w
RAS	3 — 6	meq/l	>1.2 EC_w	1.2 — 0.3 EC_w	<0.3 EC_w
RAS	6 — 12	meq/l	>1.9 EC_w	1.9 — 0.5 EC_w	<0.5 EC_w
RAS	12 — 20	meq/l	>2.9 EC_w	2.9 — 1.3 EC_w	<1.3 EC_w
RAS	20 — 40	meq/l	>5.0 EC_w	5.0 — 2.9 EC_w	<2.9 EC_w
Sodio (Na^+)	Riego por aspersión	meq/l	<3	>3	
Sodio (Na^+)	Riego superficial	meq/l	<3	3 — 9	>9
Cloruro (Cl^-)	Riego por aspersión	meq/l	<3	>3	
Cloruro (Cl^-)	Riego superficial	meq/l	<4	4 — 10	>10
Cloruro (Cl_2)	Total residual	mg/l	<1	1 — 5	>5
Bicarbonato (HCO_3)		mg/l	<90	90 — 500	>500
Boro (B)		mg/l	<0.7	0.7 — 3.0	>3.0
Sulfuro de hidrógeno		mg/l	<0.5	0.5 — 2.0	>2.0
Hierro (Fe)	Riego por goteo	mg/l	<0.1	0.1 — 1.5	>1.5
Manganeso (Mn)	Riego por goteo	mg/l	<0.1	0.1 — 1.5	>1.5
Nitrógeno total		mg/l	<5	5 — 30	>30
pH	Amplitud normal 6.5 — 8				

Fuente: Ayers y Westcot, 1987

El daño foliar de las sales presentes en las aguas residuales, que son utilizadas para el riego por aspersión en las plantas, dependerá de las concentraciones de iones individuales presentes, de la sensibilidad del cultivo, de la frecuencia de las aspersiones, y hasta cierto punto, de factores ambientales, tales como temperatura, humedad relativa y del estrés hídrico de las plantas antes del riego. Los iones tóxicos contenidos comúnmente son el cloro, el sodio y el boro, y los daños pueden ser provocados individualmente o en combinación (Ayers y Westcot, 1987).

La toxicidad del cloro puede ocurrir por absorción directa, a través de las hojas de los cultivos regados por aspersión o por la absorción a través de la raíz. En cultivos sensibles, el daño se manifiesta en concentraciones de 0.3 a 1.0%. En el caso del sodio, sus concentraciones son superiores a 0.25 ó 0.50%, en base seca provocan toxicidad en cultivos arbóreos. En cambio el boro, los síntomas de toxicidad en la mayoría de los cultivos aparecen cuando la concentración foliar excede 250 ó 300 mg por kilogramo de materia seca. Las tablas 4 y 5 muestran el grado de tolerancia al sodio y boro de algunos cultivos.

Tabla 4. Tolerancia relativa de algunos cultivos al sodio intercambiable

Sensibles ¹ PSI < 15	Semitolerantes ¹ 15 < PSI < 40	Tolerantes ¹ PSI > 40
Palta (<i>Persea americana</i>)	Zanahoria (<i>Daucus carota</i>)	Alfalfa (<i>Medicago sativa</i>)
Frutas caducifolias	Trébol ladino (<i>Trifolium repens</i>)	Cebada (<i>Hordeum vulgare</i>)
Nueces	Pato miel, gramalote (<i>Paspalum dilatatum</i>)	Remolacha hornamental (<i>Beta vulgaris</i>)
Frijoles (<i>Phaseolus vulgaris</i>)	Fetusca alta (<i>Festuca arundinacea</i>)	Remolacha azucarera (<i>Beta vulgaris</i>)
Algodón (germinación) (<i>Gossypium hirsutum</i>)	Lechuga (<i>Lactuca sativa</i>)	Zacate Bermuda (<i>Cynodon dactylon</i>)
Maíz (<i>Zea mays</i>)	Mijo (<i>pennisetum typhoides</i>)	Algodón (<i>Gossypium hirsutum</i>)
Arveja (<i>Pisum sativum</i>)	Caña de azúcar (<i>Saccharum officinarum</i>)	Capín, hierba de Pará (<i>Brachiaria mutica</i>)
Toronja (<i>Citrus paradisi</i>)	Bersim, trébol de Alejandría (<i>Trifolium alexandrinum</i>)	Zacate Rhodes (<i>Cholris gayana</i>)
Naranja (<i>Citrus sinensis</i>)	Meliloto, trébol dulce (<i>Melilotus parviflora</i>)	Agropiro crestado (<i>Agropyron cristatum</i>)
Durazno (<i>Prunus persica</i>)	Mostaza (<i>Brassica juncea</i>)	Agropiro alargado (<i>Agropyron elongatum</i>)
Mandarina (<i>Citrus reticulata</i>)	Avena (<i>Avena sativa</i>)	Zacate Carnal (<i>Diplachna fusca</i>)
Frijol chino (<i>Phaseolus aurus</i>)	Rábano (<i>Raphanus sativus</i>)	
Lenteja (<i>Lens culinaria</i>)	Arroz (<i>Oriza sativa</i>)	
Maní (<i>Arachis hypogaea</i>)	Centeno (<i>Secale cereale</i>)	
Garbanzo (<i>Cicer arietinum</i>)	Gramma de centeno (<i>Lolium multiflorum</i>)	
Caupíes (<i>Vigna sinensis</i>)	Sorgo (<i>Sorghum vulgare</i>)	
	Espinaca (<i>Spinacea oleracea</i>)	
	Tomate (<i>Lycopersicon esculentum</i>)	
	Veza (<i>Vicia sativa</i>)	
	Trigo (<i>Triticum vulgare</i>)	

Fuente: Ayers y Westcot, 1987

Tabla 5. Tolerancia relativa al boro de algunos cultivos

Nombre común	Nombre científico	Nombre común	Nombre científico
Muy sensibles (< 0.5 mg/l)		Moderadamente sensibles (1.0 – 2.0 mg/l)	
Limonero	<i>Citrus limon</i>	Ajies	<i>Capsicum annum</i>
Zarzamora	<i>Rubis spp.</i>	Arveja	<i>Pisum sativa</i>
Sensibles (0.5 – 0.75 mg/l)		Zanahoria	<i>Daucus carota</i>
Palta	<i>Persea americana</i>	Rábano	<i>Raphanus sativus</i>
Toronja	<i>Citrus X paradisi</i>	Papa	<i>Solanum tuberosum</i>
Naranja	<i>Citrus sinensis</i>	Pepino	<i>Cucumis sativus</i>
Albaricoquero	<i>Prunus armeniaca</i>	Moderadamente tolerantes (2.0 – 4.0 mg/l)	
Melocotonero	<i>Prunus persica</i>	Lechuga	<i>Lactuca sativa</i>
Cerezo	<i>Prunus avium</i>	Repollo	<i>Brassica oleracea capitata</i>
Ciruelo	<i>Prunus domestica</i>	Apio	<i>Apium graveolens</i>
Caqui	<i>Diospyros kaki</i>	Nabo	<i>Brassica rapa</i>
Higuera	<i>Picus carica</i>	Pasto azul	<i>Poa pratensis</i>
Vid	<i>Vitis vinifera</i>	Avena	<i>Avena sativa</i>
Nogal	<i>Juglans regia</i>	Maíz	<i>Zea mays</i>
Pecana	<i>Carya illinoensis</i>	Alcachofa	<i>Cynara acolymus</i>
Caupíes	<i>Vigna unguiculata</i>	Tabaco	<i>Nicotiana tabacum</i>
Cebolla	<i>Allium cepa</i>	Mostaza	<i>Brassica juncea</i>
Sensibles (0.75 – 1.0 mg/l)		Trébol dulce	<i>Melilotus indica</i>
Ajo	<i>Allium sativum</i>	Calabaza, zapallo	<i>Cucurbita pepo</i>
Camote	<i>Ipomoea batatas</i>	Melón	<i>Cucumis melo</i>
Trigo	<i>Triticum aestivum</i>	Tolerantes (4.0 – 6.0 mg/l)	
Cebada	<i>Hordeum vulgare</i>	Sorgo	<i>Sorghum bicolor</i>
Girasol	<i>Helianthus annus</i>	Tomate	<i>Lycopersicon esculentum</i>
Frijol chino	<i>Vigna radiata</i>	Alfalfa	<i>Medicago sativa</i>
Ajonjolí	<i>Sesamum indicum</i>	Veza	<i>Vicia benghalensis</i>
Lupino, altramuza	<i>Lupinus hartwegii</i>		
Fresa	<i>Fragaria spp.</i>		
Alcachofa	<i>Helianthus tuberosus</i>		
Frijol	<i>Phaseolus vulgaris</i>		
Vainitas	<i>Phaseolus lunatus</i>		
Maní	<i>Arachis hypogaea</i>		

Fuente: Ayers y Westcot, 1987



El aspecto bacteriológico también debe ser evaluado e interpretado con base en los referentes internacionales o en la normatividad vigente de cada país, considerando los límites de contaminantes patógenos presentes en el agua de riego, ya que su calidad tiene influencia en la calidad sanitaria de los productos, y con los riesgos asociados, a la salud pública de los consumidores. Mara y Cairncross (1990) mencionan que para aguas de riego que contengan ≤ 1 H.H./L se pueden regar árboles forestales, cultivos industriales, árboles frutales y pastos o forrajes. En cambio para el agua cuya calidad bacteriológica sea de ≤ 1 H.H./L y ≤ 1000 Coliformes Fecales C.F. (media geométrica/100 ml) se pueden regar plantas comestibles, terrenos deportivos y parques públicos. En México con esta calidad de agua, se pueden regar cultivos agrícolas en forma ilimitada como forrajes, granos, frutas, legumbres y verduras (aunque estas últimas se recomiendan sean desinfectadas o cocidas antes de su ingesta).

2.3 Tratamiento complementario previo al reúso del agua en la parcela

El ideal del aprovechamiento de las aguas residuales sin riesgos es que el agua cumpla con los requisitos de calidad para el riego agrícola, es decir, que provenga de un sistema de tratamiento y que el efluente cumpla con las directrices de la normatividad vigente, si existe, y si no, con los referentes internacionales que maneja la OMS. Sin embargo, dado que la realidad Latinoamericana indica que aún no se cumplen los objetivos del milenio en cuanto al saneamiento de las aguas residuales, ya sea porque no existe la capacidad instalada suficiente o porque los programas en éste rubro son aún incipientes, el hecho es que muchas de las aguas residuales no cumplen con la calidad de reúso para agricultura, por lo que en la mayoría de los casos, el agua que llega a los sistemas de riego agrícola requiere de un tratamiento complementario, a fin de mejorar su calidad y hacerla apta para su aprovechamiento.

En este sentido, a continuación se detallarán algunas opciones que se pueden considerar para mejorar la calidad bacteriológica del agua de reúso.

2.3.1 Desinfección con Rayos Ultravioleta (UV)

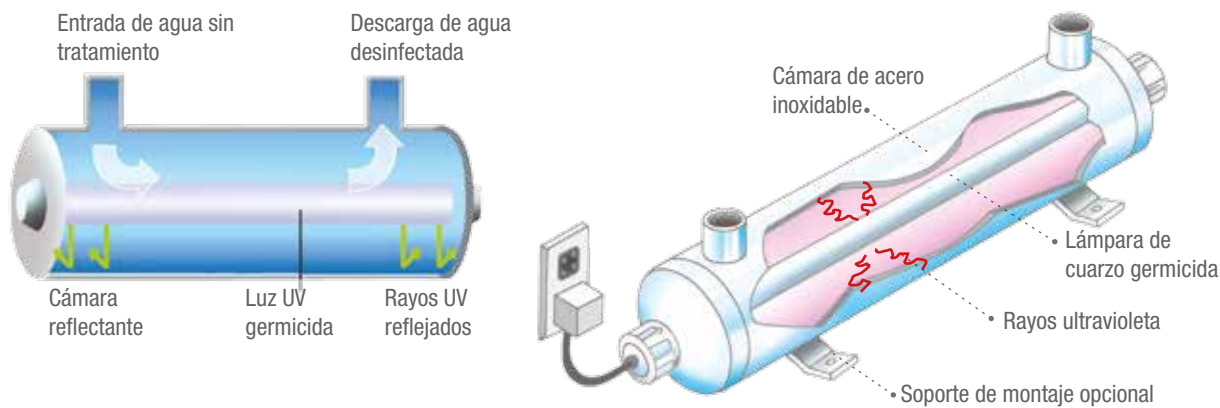
Cuando se habla de reúso del agua residual, lo mejor es complementar con un proceso de desinfección previo al reúso en la parcela, buscando preferentemente que éste sea seguro, eficaz y que no produzca residuos. Las características que ubican a los Rayos Ultravioleta (UV) como el método de desinfección ideal es gracias a que su longitud de onda permite eliminar de manera eficaz a los microorganismos y agentes patógenos causantes de enfermedades de tipo gastrointestinal.

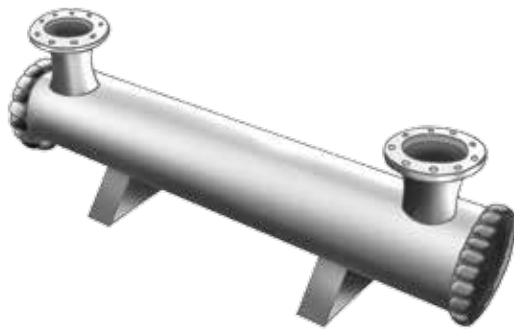
Los Rayos UV actúan sobre el ADN de las bacterias, destruyendo su información genética e impidiendo de ésta manera que éstas se reproduzcan.

La desinfección del agua residual con Rayos Ultravioleta tiene muchas ventajas, entre ellas:

- › Erradicación efectiva e inmediata de bacterias sin necesidad de adicionar algún producto químico.
- › Con éste método de desinfección no se forman sustancias no deseadas, como los trihalometanos.
- › Su efecto desinfectante no produce olor o sabor.
- › Su efectividad no depende del pH del agua.
- › La instalación del equipo requiere poco espacio.
- › El equipo tiene bajos costos de mantenimiento contra una gran efectividad en la remoción de microorganismos y patógenos.
- › Ofrecen gran efectividad en la remoción de microorganismos como Criptosporidia y Giardia, que son muy resistentes a otros sistemas de desinfección.
- › Requieren de menor tiempo de contacto en relación a otros sistemas de desinfección. Generalmente, los UV sólo requieren entre 20 a 30 segundos de tiempo de contacto para eliminar bacterias, virus, esporas y quistes, lo que evita que a través del agua se dispersen elementos causantes de enfermedades de tipo gastrointestinal.

Radiación ultravioleta





Asimismo, los Rayos Ultravioleta permiten reducir la carga biológica del agua y mejoran la calidad sanitaria del efluente hasta límites admisibles para su reúso, tanto en riego agrícola como en servicios al público, esto hace que sea el sistema de desinfección más recomendado cuando el agua residual tiene fines de reúso. Un ejemplo de lo mencionado se detalla a continuación: García Giménez (2010) menciona que en el fundo Quimávida, perteneciente a la Fundación San Vicente de Paul, ubicada en la Región VI de Chile, se estableció un sistema de desinfección con rayos ultravioleta para mejorar la calidad sanitaria del agua residual que llegaba para el riego, la cual traía entre 3.000 y 16.000 Coliformes fecales NMP/100 ml, pero una vez que el agua pasaba por el sistema de Rayos UV para desinfectarla, se obtenía agua con menos de 1.000 coliformes fecales NMP/100 ml, lo que muestra su alta efectividad.

Las principales desventajas del uso de éste sistema radican en:

- › Dificultad de este metodo para remover huevos de helminto.
- › Se requiere inversión inicial para la compra del equipo (alrededor de 750 Dólares Americanos, a la tasa de cambio de agosto de 2015).
- › Se requiere mantenimiento frecuente que debe ser considerado en los costos de operación.
- › No se puede utilizar agua mal tratada con sólidos en suspensión mayores a 30 mg/L, ya que evitan que la desinfección sea efectiva.
- › Se requiere necesariamente de una fuente de energía eléctrica.

Figura 2. Desinfección mediante UV en la PTAR



PTAR de
Postrer Valle,
Santa Cruz

2.3.2 Desinfección con ozono

Los datos que han vertido los medios de comunicación sobre la destrucción de la capa de ozono en nuestro planeta han generado en la población la impresión que usar gas ozono para desinfectar el agua es algo malo, sin embargo, no lo es. El gas ozono se ha utilizado en países desarrollados para desinfectar agua desde finales del siglo XVIII, por su efectividad para remover bacterias y virus, comparado con la cloración. El gas ozono se produce a partir del oxígeno puro.

La tecnología actualmente disponible para usar como desinfectante se integra de un generador de ozono (que incluye filtros de aire), un sistema difusor del ozono y un tanque de contacto.

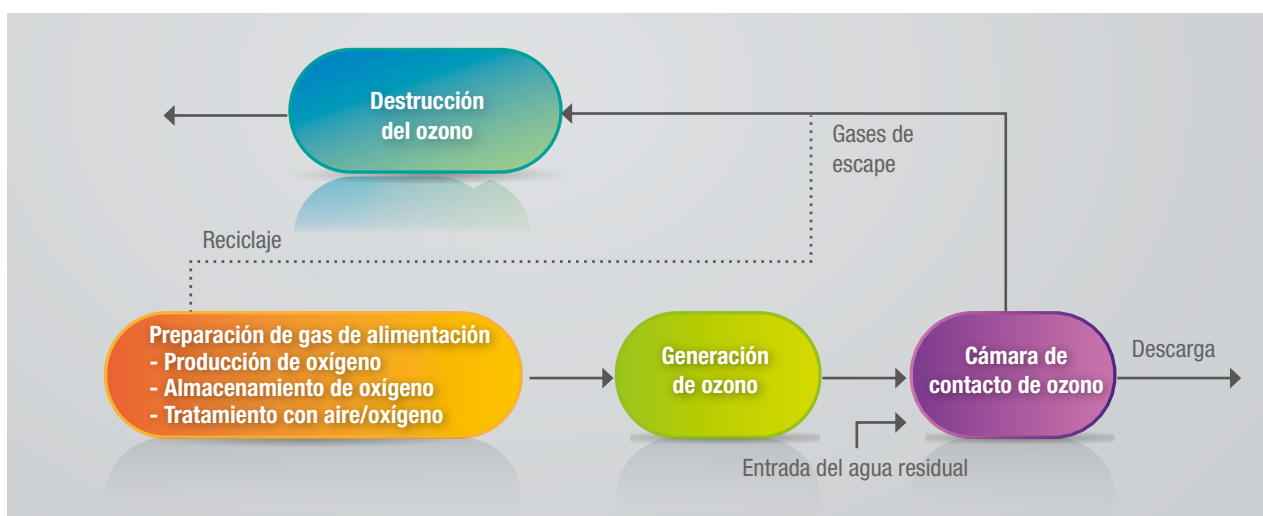
El sistema de desinfección con ozono se instala en línea con la tubería de suministro de agua. El equipo está construido de forma tal que cuando se abra cualquier toma de agua en el sistema, lo cual produce una caída de presión en el sistema, uno de los sensores en el interior del mismo registra la variación de presión y da la orden para producir ozono. Este proceso ocurre completamente en automático y en varias etapas en función de la demanda de agua.

A nivel de finca agrícola, el sistema puede ser usado como tratamiento complementario de aguas residuales que llegan para el riego, permitiendo el reúso de éstas, en virtud de la mejora que se produce en su calidad sanitaria. Existen desde pequeños equipos que permiten desinfectar entre 5 y 15 litros por minuto, operando con una potencia de 55 W.

El tiempo de contacto va a depender de la calidad del agua residual, siendo del orden de magnitud de escasos minutos. Empero, a menor temperatura, se requerirá de un mayor intervalo de tiempo de contacto y una mayor concentración de ozono (Comisión Nacional de Riego, 2007, citado por García Giménez, 2010).

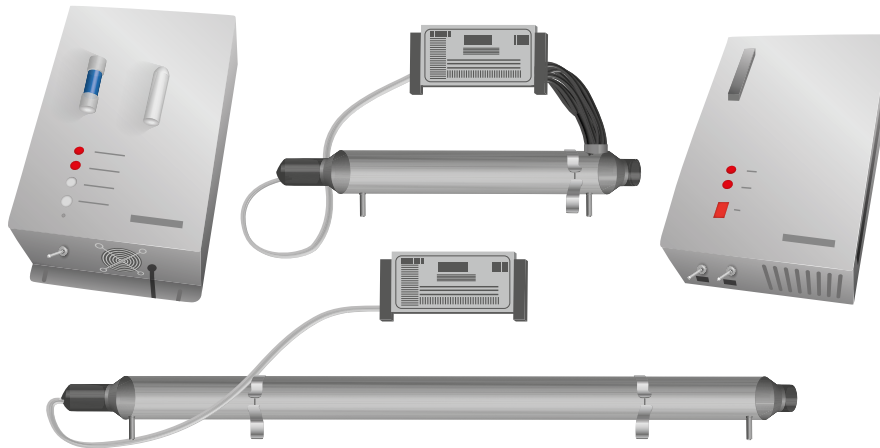
Las principales desventajas de éste sistema radican en que aún es una tecnología compleja, tiene un alto costo de inversión inicial y necesariamente se requiere una fuente de energía eléctrica cercana y disponible. Además, por ser el ozono un gas inestable, requiere que se capacite adecuadamente al operador del sistema y se concientice totalmente de los riesgos y de los cuidados obligatorios que deberá tener siempre al operar el sistema.

Figura 3. Diagrama esquemático del proceso de ozonización



Fuente: U.S. EPA, 1986

Figura 4: Equipo de desinfección con lámpara ultravioletas



2.3.3 Micro y ultrafiltración con tecnología de membranas

Con la microfiltración es posible remover las bacterias presentes en el agua residual, y con la ultrafiltración se remueven virus. Ambas técnicas basan sus principios en la separación física de partículas. El tamaño de poro de estas membranas (0.1 a 10 μm) determinará la eficacia en la remoción de sólidos y microorganismos patógenos, principalmente.

Para utilizar las técnicas de micro y ultrafiltración es muy importante que el agua de reúso tenga al menos un tratamiento primario o que se establezca una unidad de pre-filtrado con materiales de poro entre 0.5 a 1.0 mm. También se pueden establecer rejillas en los canales de distribución del agua de riego que reduzcan el paso de los sólidos. Otra alternativa es la utilización de materiales decantadores, que sirve para separar mediante gravedad los materiales o partículas más pesadas como arenas o gravillas.

Según la revisión bibliográfica, se encontraron datos que muestran la alta eficiencia de remoción de patógenos y sólidos cuando se han usado membranas de óxido de aluminio, como se observa en la siguiente tabla:

Tabla 6. Remoción de patógenos a través de microfiltración.

Parámetros analizados	Aguas residuales urbanas antes del microfiltrado	Aguas residuales urbanas después del microfiltrado
E. Coli (UFC/100 ml)	8.20 E+01	0.00E+00
Salmonela (en 1 litro)	No detectada	No detectado
Shigella (en 1 Litro)	No detectada	No detectado
Enterococos (UFC/100ml)	1.60E+01	0.00E+00
Rto de bacterias (UFC/100 ml)	3.90E+05	3.20E+03
Rto de Hongos (UFC/100 ml)	1.60E+01	1.00E+00
Phytium	No detectada	No detectado
Phytophthora	No detectada	No detectado

Fuente Gobierno de España-Ministerio de Economía, 2010. Ejemplos prácticos de reutilización de agua residual tratada y regenerada para el riego de Cultivos. Evaluación de Riesgos.

Las principales desventajas de este sistema radican en que también es una tecnología compleja (se requieren bombas filtros, depósitos de agua, el módulo de micro y ultrafiltración con sus membranas), por lo que tiene un alto costo de inversión inicial y además se requiere una fuente de energía eléctrica, es así que en algunas explotaciones comerciales de cultivos bajo invernadero se justifica su aplicación.

Figura 5: Tamaño de moléculas que retienen cada una de las membranas

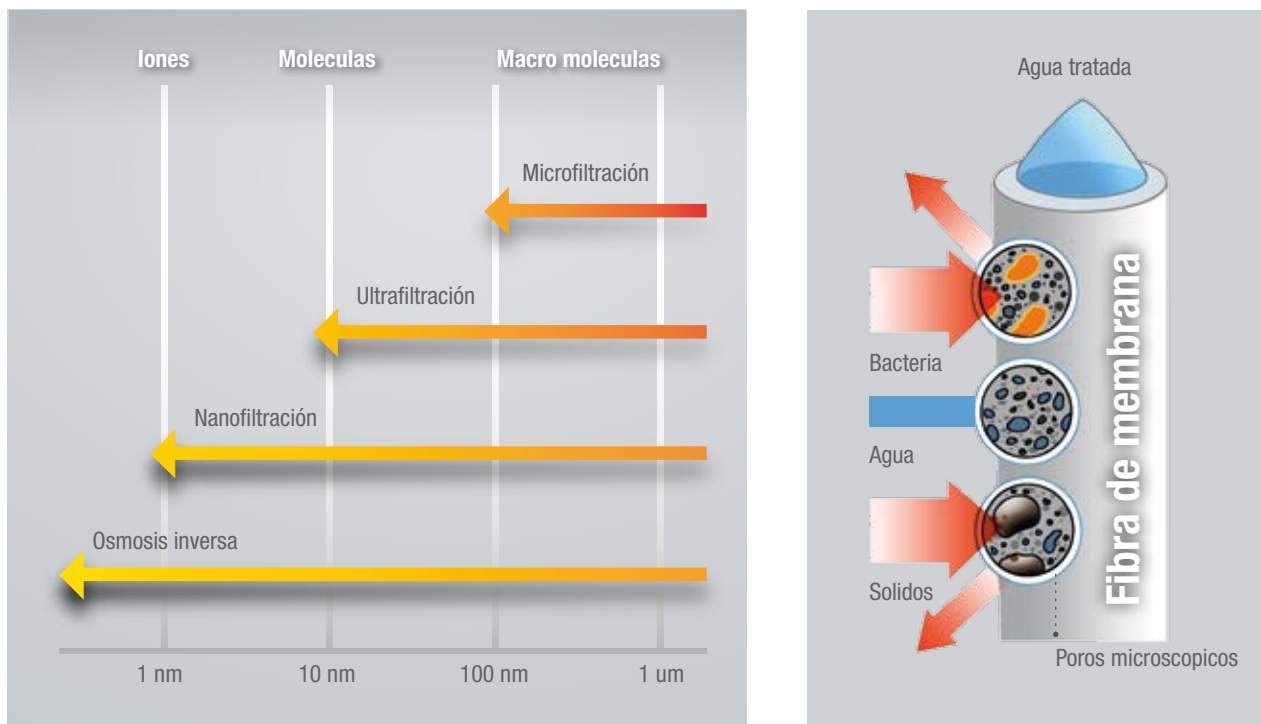
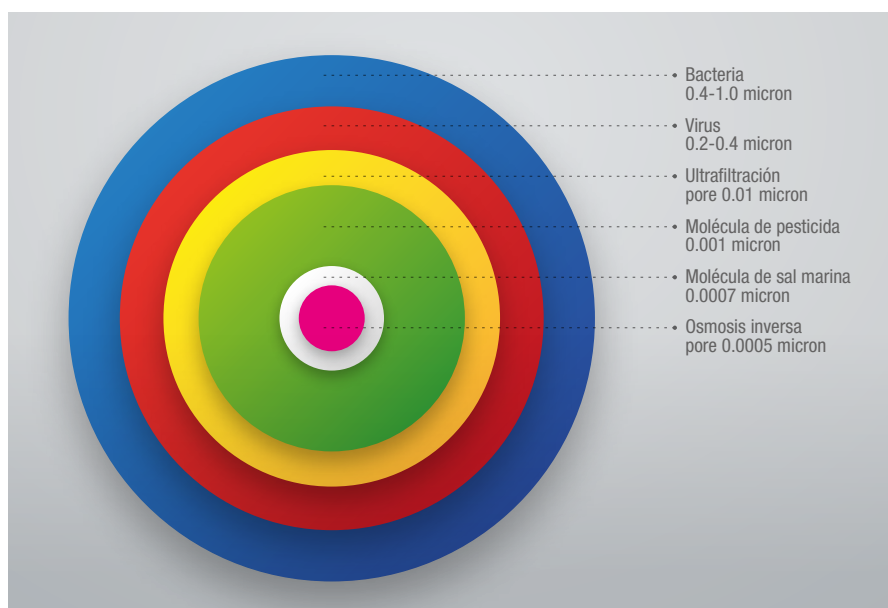


Figura 6. Tamaño de los poros comparados con los valores aproximados de las moléculas, bacterias y virus



2.3.4 Galerías filtrantes (Qanat)

Las galerías filtrantes son obras sencillas que captan agua filtrada en forma natural, funcionando como pozos horizontales. Sirven para recolectar agua de cuerpos subterráneos o superficiales, principalmente ríos o arroyos, cuya calidad se desconoce o se requiere mejorar para su aprovechamiento. Su uso en América Latina se remonta hasta unos 1500 años atrás, cuando la cultura Nazca en Perú construyó galerías filtrantes para regar sus campos agrícolas y muchas de ellas aún funcionan. En muchos países a las galerías filtrantes se les conoce como: *Qanat*, *foggara*, *fuqara*, minas de agua, etc. En Perú se conocen como *Puquios* o *Pukios*, y en México son conocidas como galerías filtrantes, apantlés con tragaluces, pozerías, etc. (Palerm-Viqueira, 2004).

Las capas de arenas o gravas que se encuentran en las orillas de los ríos, arroyos o lagos, permiten con cierta facilidad construir galerías filtrantes cercanas. De manera general se debe excavar un dren o zanja y el pozo, y ademararlo o revestirlo hasta cierta altura para que el agua que puede fluir de manera horizontal, a través de las paredes de la galería o verticalmente desde el piso de la galería, se concentre y llene este espacio, así posteriormente por bombeo o gravedad se pueda enviar hacia la zona de riego, generándose en la galería filtrante un ciclo de recarga y otro de extracción.

Los lugares más convenientes para la construcción de galerías filtrantes son las márgenes planas de los cursos y cuerpos de agua, con poca diferencia de elevación entre el nivel del agua y el nivel superior del terreno, a fin de evitar grandes excavaciones. El material que forma el lecho del río en la zona de captación debe tener una granulometría que le permita trabajar a la galería filtrante como un filtro lento.

Para minimizar la contaminación de las aguas captadas por la galería, se recomienda ubicarla lo más alejada posible de las fuentes de contaminación, tales como lagunas de estabilización, filtros percoladores, letrinas, descargas industriales, etc. Asimismo, por cuestiones de seguridad sanitaria, el sitio seleccionado para su construcción no debe encontrarse expuesto a erosión hídrica por la propia corriente de agua, ya que puede poner en peligro el pozo al adelgazarse el espesor de la capa del suelo que funciona como filtro, así como deteriorar la calidad del agua extraída.



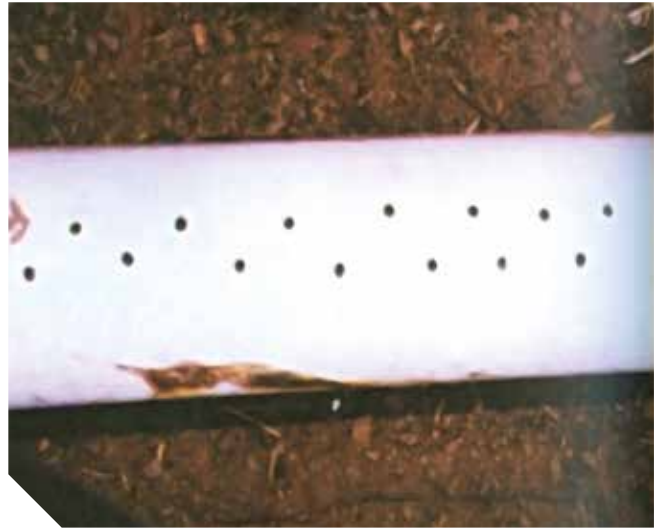
▲ Galería Río Seco (Tarata) Etapa de la construcción



▲ Galería Río Seco (Tarata) Etapa de la construcción

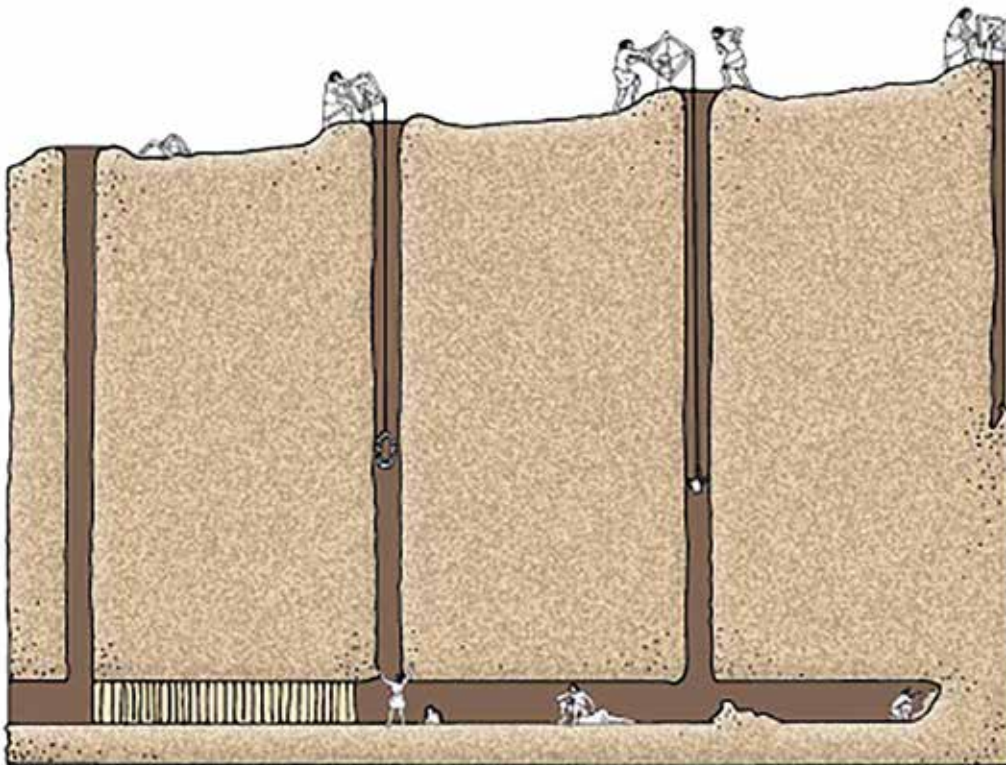


▲ Galería Realenga; cámara de inspección



▲ Galería Realenga; tubería de ampliación de la galería

Ilustración de la construcción de Qanat



En cuanto a la distancia que debe existir entre la galería y la fuente de recarga superficial, puede considerarse como distancia mínima la que pueda recorrer la contaminación bacteriana presente en un río o lago. Por lo general, se considera la recomendación emitida por la OMS con respecto a la distancia que debe existir entre una letrina y una fuente de agua subterránea. Esta no debe ser menor a 15 metros (CEPIS, 2002).

La calidad físico-química del agua producida por las galerías de filtración, situadas en las márgenes de las corrientes superficiales, depende de la calidad del agua subterránea de los alrededores de la galería y de la fuente superficial. La calidad bacteriológica es muy variable y difícil de predecir, por lo que las galerías poco profundas están sujetas a contaminación bacteriológica por la acción humana. El problema se incrementa cuando el terreno que separa la galería de las fuentes contaminantes es muy poroso, fisurado o cavernoso. Esto hace que el área cercana a la galería debe ser estudiada para prever cualquier tipo de contaminación.

La información requerida para elaborar un buen diseño de una galería filtrante es:

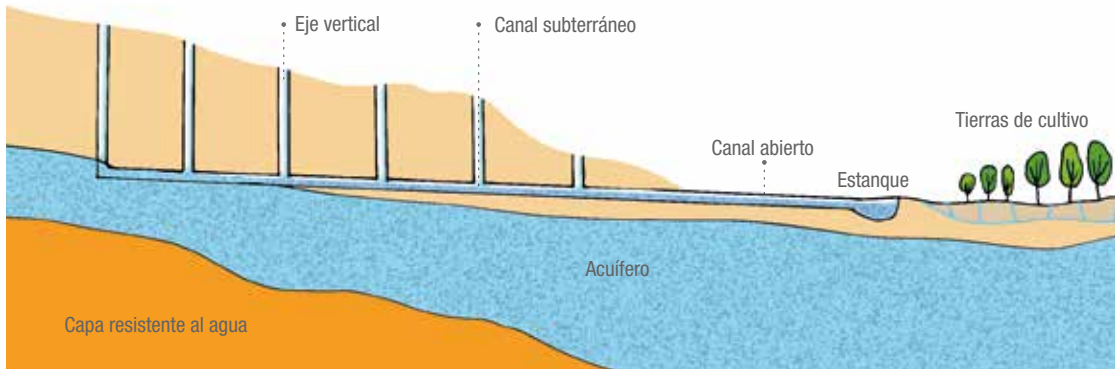
- ▶ Contar con un plano cartográfico de la zona.
- ▶ Contar con un plano geológico y de perfiles transversales del sitio seleccionado.
- ▶ Hacer un perfil estratigráfico en el sitio.
- ▶ Hacer un mapa de niveles freáticos o de aguas subterráneas y su variación en el año hidrológico.
- ▶ Parámetros hidrogeológicos determinados por ensayos de bombeo.
- ▶ Análisis físico-químico y bacteriológico del agua.



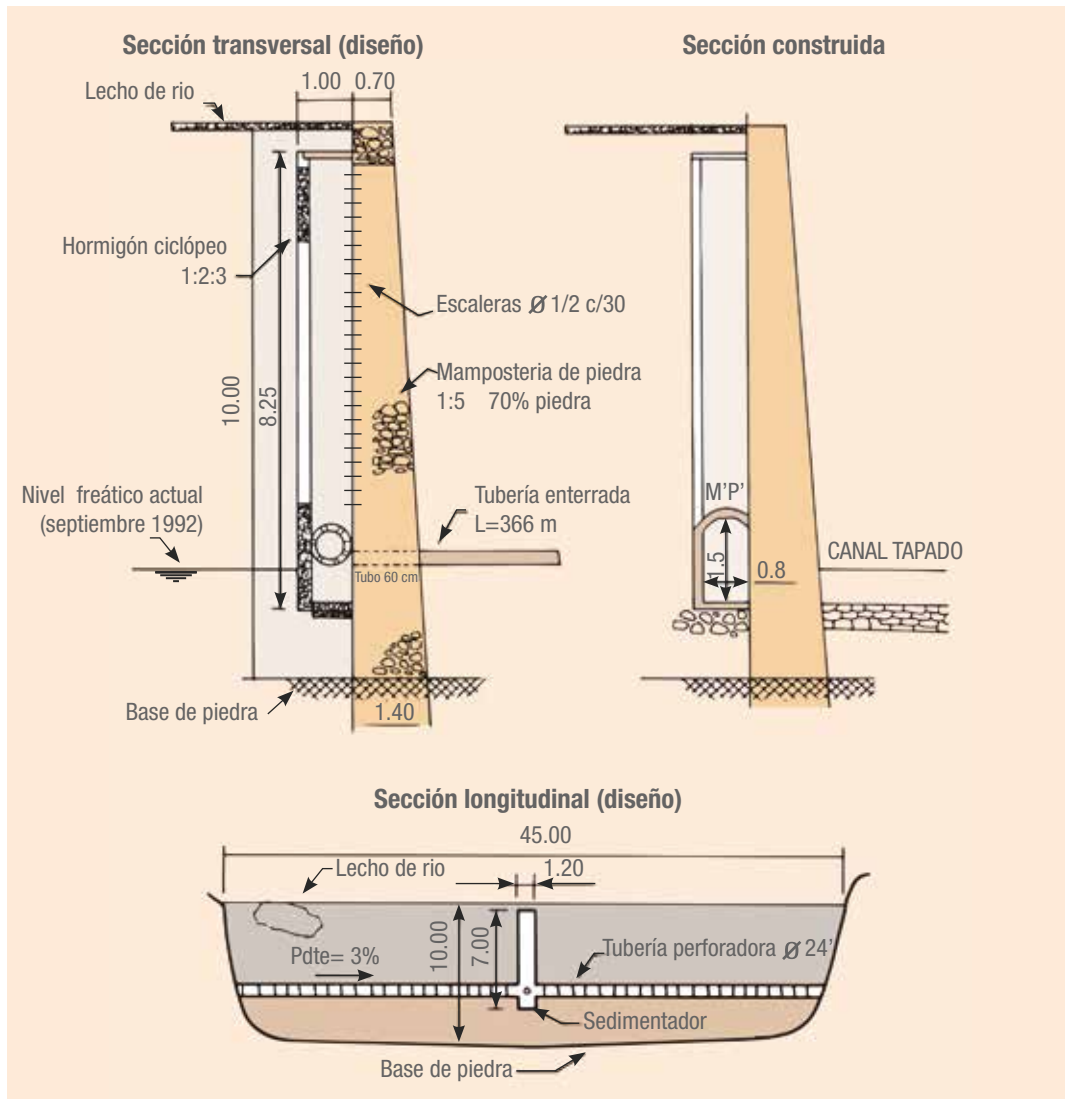
▲ Galería Taquiña



▲ Galería Loro Mayu; proceso de construcción



Galería filtrante TIPAJARA



El agua producida por las galerías de filtración adecuadamente diseñadas, construidas, operadas y mantenidas no necesitan de procesos de clarificación adicionales, ya que sólo es necesario desinfectarla, si su origen es agua residual cruda o si su calidad no reúne los requisitos para el riego agrícola de interés (generalmente se requerirá si se cultivan hortalizas de consumo humano directo o crudo).

Un profesional como un ingeniero civil o un ingeniero especialista en riego podrían asesorar durante la etapa de diseño y construcción de la galería filtrante. Duran (1995), citado por Palem-Viqueira (2004), menciona un ejemplo de galería filtrante formada por dos tubos perforados de 0.50 m de diámetro que atraviesan el lecho de un río, con el objetivo de captar a una profundidad de 3 m las aguas subterráneas de infiltración que corren a lo largo del cauce continuamente. Y ésta misma técnica adaptada a las condiciones de zonas de reúso se puede aplicar para mejorar la calidad del agua residual que fluya por un cauce de agua, y mediante la galería filtrante mejore su calidad y se pueda reusar en la zona de riego.

2.4 El suelo y sus riesgos de afectación por el riego con aguas residuales

El suelo es la parte exterior de la corteza terrestre en donde las rocas se han desintegrado por efectos del intemperismo, formando una cubierta en la que vive la microbiota, flora y fauna microbianas, que en conjunto, transforman la materia mineral y orgánica en alimento para las plantas que se desarrollen o se cultiven.

El suelo juega un papel ambiental de suma importancia, ya que puede considerarse como un reactor bio-físico-químico, en donde se descompone material de desecho que es reciclado dentro de él. Y su calidad va a depender de su capacidad para sostener la productividad vegetal o animal.

El suelo se puede clasificar según su textura, de acuerdo a tamaño y concentración de sus partículas (porcentaje de limo, arcilla y arena que contenga). En cualquier proyecto de reúso de aguas residuales para riego agrícola, es importante determinar el grupo textural al que pertenecen los suelos, ya que el reúso se recomienda preferentemente en suelos francos (con un adecuado equilibrio en la proporción de limo, arcilla y arena) y se condiciona a un sistema y manejo adecuado del agua de riego en suelos someros y/o arenosos. No se recomienda su aplicación en suelos de texturas muy pesadas, como los predominantemente arcillosos que tienen una alta capacidad de retención de agua, pues crea condiciones temporales de saturación que favorecen una rápida reproducción de bacterias y otros patógenos presentes en el agua residual, mismos que pueden provocar enfermedades, principalmente de tipo bacteriano o fungoso en las plantas, y pueden ser causa de pérdidas importantes en el desarrollo y productividad de los cultivos.

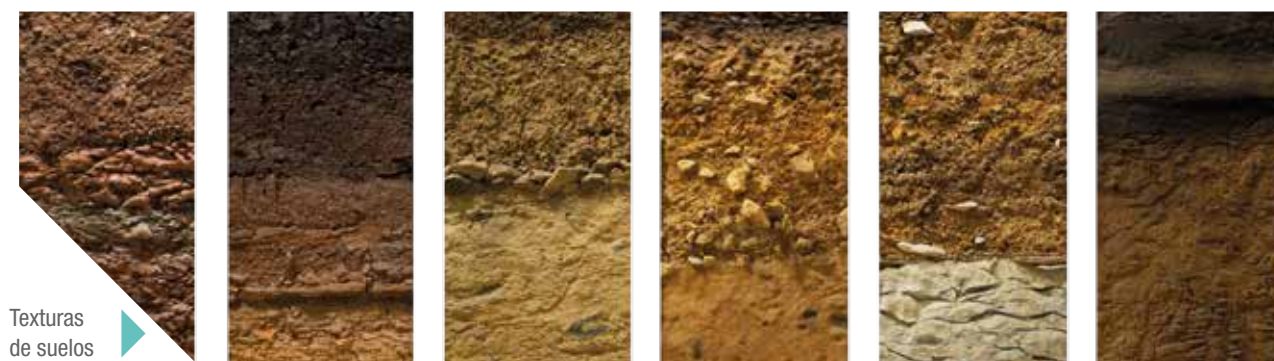
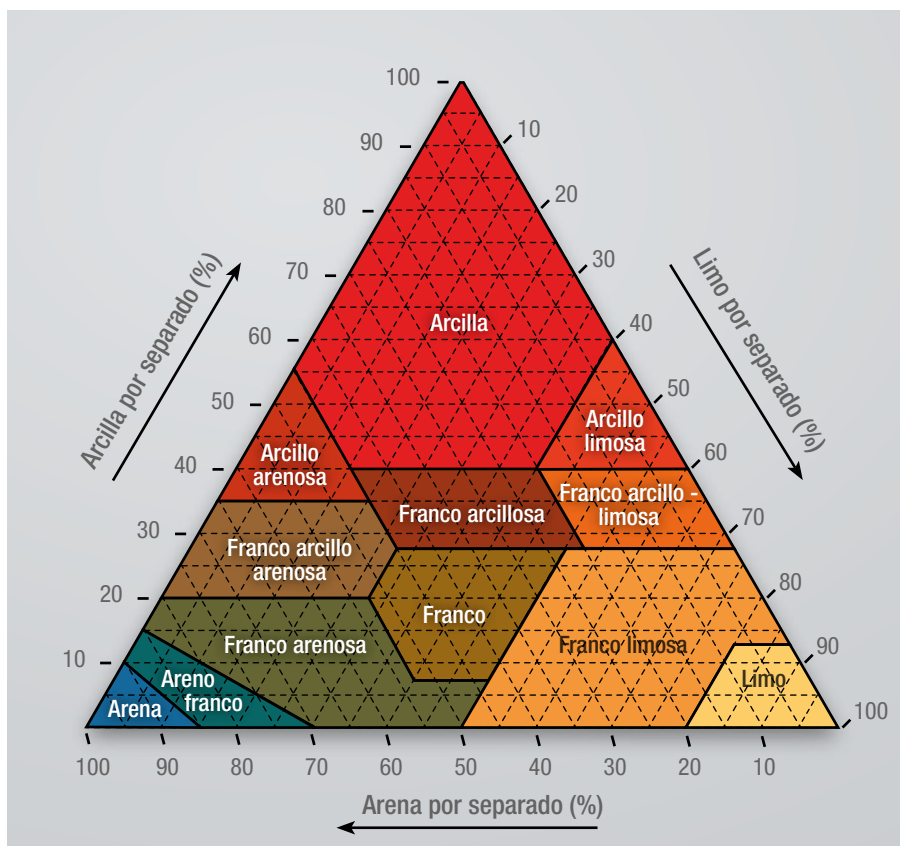


Figura 8. Triángulo textural del suelo mostrando los porcentajes de arcilla, limo y arena de las clases texturales



Fuente : USDA 2012

Una de las bondades, en cuanto al aprovechamiento de las aguas residuales, es que contienen elementos en suspensión, los cuales son retenidos por la matriz del suelo. Esto mejora las propiedades físicas y químicas, estructura y retención de nutrientes, además propicia una mayor actividad biológica que favorece la mineralización de elementos como el nitrógeno y el fósforo (Mulvaney, 1996). Lo que redundaría en el desarrollo de plantas más vigorosas, así como mayores rendimientos.

La dinámica de la materia orgánica en el suelo desempeña un papel importante en función que su descomposición permite la disponibilidad de nutrientes para las plantas (Raber y Kogel-Knabner, 1995), por lo que el aporte de materia orgánica proveniente de las aguas residuales es muy apreciado por los productores agrícolas.

En este contexto, el reúso de aguas residuales para el riego agrícola puede incrementar el contenido de materia orgánica en los suelos, esto favorece a conservar o mejorar su fertilidad. Sin embargo, es importante considerar su capacidad de amortiguamiento, asimilación y degradación de contaminantes presentes en el agua residual, a fin de no provocar daños que deterioren su calidad.

Por otra parte, una de las mayores preocupaciones relacionadas con el reúso de las aguas residuales es la salinización de terrenos agrícolas y la pérdida de infiltración, por lo que estos temas se analizarán a detalle a continuación.

2.4.1 Salinización

La salinización del suelo puede tener diversos orígenes, uno de ellos es por causas antropogénicas, donde una mala práctica del riego, aunado a la mala calidad del agua (del tipo fisicoquímico), favorecen la concentración y afloramiento de las sales en los terrenos.

Es importante aclarar que todas las aguas de riego sean naturales (superficiales o subterráneas), tratadas o residuales contienen sales (en distinta proporción según su origen), y estas tienden a concentrarse en la superficie del terreno, favorecidas por la evaporación del agua de riego aplicada. Además, en zonas con manto freático elevado, tiende a elevarse, acarreado con ello sales hacia la superficie que se acumulan como una costra blanquesina.

Algunos suelos, por su origen geológico, también contienen sales que, sumadas a las provenientes del agua de riego, las de los fertilizantes aplicados, y en su caso, a las presentes en el manto freático somero incrementan los problemas de salinización de terrenos.

El fenómeno de salinización de terrenos se observa que se presenta en mayor medida en zonas áridas y semiáridas, favorecidas por el tipo de suelos, por las temperaturas y las altas tasas de evaporación, así como por la presencia de drenaje pobre o deficiente y mantos freáticos someros. Dichas condiciones alteran el balance agua-suelo-planta.

Es importante mencionar que el agua de riego aplicada en exceso y de mala calidad (con gran cantidad de sales) puede provocar salinización de suelos paulatinamente, lo que conlleva a obtener bajas productividades, reduciendo la superficie cultivable, y en casos severos, hasta a perder terrenos productivos.



Terrenos con problemas de salinidad



Terrenos agrícolas con riego en exceso

Entre las medidas para evitar la salinización de terrenos regados con aguas residuales tratadas están:

- a. Monitorear la calidad del agua de riego (en época de estiaje).
- b. Hacer nivelación de suelos.
- c. Mejorar las condiciones de drenaje del terreno (natural o artificial).
- d. Aplicar las láminas de riego que el cultivo necesita más una cantidad extra de agua que sirva para lixiviar las sales de la zona de raíces.
- e. Lavar suelos entre ciclos agrícolas*.
- f. Preferir el uso de abonos orgánicos previamente composteados.
- g. Evitar aplicar fertilizantes químicos en exceso y no aplicar fertilizantes que contengan cloro y sodio como el Cloruro de Potasio (ejemplo KCL 0-0-60) ni el Nitrato de Sodio (ejemplo NaNO_3 13.5-0-45).
- h. Aplicar mejoradores de suelos (yeso).

*Rhoades y Merrill (1976) establecieron la siguiente ecuación para calcular el requerimiento de lavado de suelos:

$$\text{LR} = \text{ECw} / 5 (\text{ECe}) - \text{ECw}$$

Donde:

LR = Requerimiento mínimo de lixiviación para control de sales con métodos de riego por gravedad (%).

ECw = Salinidad del agua aplicada (dS m-1).

ECe = Salinidad media del suelo tolerada por el cultivo (dS m-1)

Flores *et al.* (1996) mencionan que el método de lavado de suelos es la medida de mejoramiento más eficaz para combatir la salinización primaria, así como para prevenir la salinización secundaria de terrenos agrícolas de riego.



Nivelación de suelos

2.4.2 Pérdida de infiltración de los suelos

Para hablar de pérdida de infiltración, primero es necesario comprender qué es la infiltración del agua en el suelo y la permeabilidad, las cuales se detallan a continuación:

La infiltración es el proceso por el cual el agua se mueve desde el exterior hacia el interior del suelo.

En el proceso de infiltración se pueden distinguir tres fases:

- a. **Intercambio.** Este proceso se realiza en la capa superior o superficial del suelo, donde el agua infiltrada puede retornar a la atmósfera por efecto de las altas temperaturas, la evaporación y movimiento capilar del agua. Además, por medio de la transpiración de las plantas.
- b. **Transmisión.** Este proceso ocurre cuando el agua infiltra hacia las capas del suelo por acción de la gravedad, la cual es superior a la fuerza de capilaridad, empujando el agua hacia las capas más profundas hasta llegar a una capa impermeable, por encima de la cual se acumula.
- c. **Circulación.** Este proceso se realiza cuando el agua que se acumuló por encima de una capa impermeable. Comienza a circular por las leyes físicas en un sentido horizontal, principalmente.

La capacidad de infiltración se define como la cantidad máxima de agua que un suelo puede absorber por unidad de superficie horizontal y por unidad de tiempo. Se puede medir por la altura del agua que se infiltró y se expresa como mm/hora.

Los factores principales que intervienen en la capacidad de infiltración son:

- a. **El tipo de suelo.** Donde la mayor infiltración se produce en suelos con tamaños de partícula gruesos (como las arenas) y las menores infiltraciones se producirán en suelos con tamaños de partículas finos (como las arcillas).
- b. **El grado de humedad del suelo.** Donde la capacidad de infiltración será inversamente proporcional a la humedad del mismo, es decir, a mayor humedad menor será la capacidad de infiltración. Y entre más seco esté el suelo mayor será la capacidad de infiltración.
- c. **El porcentaje de cubierta vegetal existente.** El cual reduce el escurrimiento superficial del agua, favoreciendo su infiltración.
- d. **El grado de compactación del suelo.** Se produce al reducirse los espacios entre los agregados del suelo. Por ejemplo, con mucha carga animal o exceso de pasos de maquinaria agrícola sobre la superficie del mismo compactará éste y se producirá una menor capacidad de infiltración.
- e. **El porcentaje de materia orgánica presente.** Suelos ricos en materia orgánica presentan mayor capacidad de infiltración.

Un factor más que interviene en la capacidad de infiltración del agua en el suelo es la permeabilidad, por ello este aspecto se comentará a mayor detalle a continuación:

La permeabilidad es la capacidad que tienen los materiales del suelo para permitir la libre circulación del agua y el aire a través de sus poros. La permeabilidad del suelo se relaciona con la textura del mismo, y generalmente, existe mayor permeabilidad en suelos arenosos y menor permeabilidad en suelos arcillosos. La importancia que reviste este factor para el aprovechamiento de las aguas residuales en zonas agrícolas de riego, radica en que el reúso se recomienda en suelos con buena permeabilidad y sin problemas de drenaje.



La permeabilidad del suelo suele medirse en función de la velocidad del flujo de agua, durante un período determinado. Generalmente, se expresa o bien como una tasa de *permeabilidad* en centímetros por hora (cm/h), milímetros por hora (mm/h), o centímetros por día (cm/d), o bien como un *coeficiente de permeabilidad* en metros por segundo (m/s) o en centímetros por segundo (cm/s).

Cuando se afecta la permeabilidad del suelo, entonces se presenta también una pérdida de infiltración del agua de riego. Algunos factores que afectan la infiltración del agua en el suelo se detallan en la tabla 7.

Las características de permeabilidad de un suelo se miden a través de pruebas de infiltración, lo que permite obtener un valor de la conductividad hidráulica.

La conductividad hidráulica o coeficiente de permeabilidad de un suelo es una propiedad no siempre constante, ya que depende de la estructura del suelo y de las condiciones en que se encuentre (Hillel, 1998; Hartge y Horn, 1999).

Tabla 7. Factores que afectan la infiltración del agua en el suelo

Características	Factores
Del suelo	Estado de la Superficie y el perfil. Existencia de grietas y galerías. Estabilidad estructural y granulometría. Contenido inicial de humedad y conductividad hidráulica. Salinidad-Sodicidad. Contenido de materia orgánica y actividad biológica.
Del agua	Contenido salino y clase de partículas en suspensión. Tiempo y modo de aplicación del agua.
Del Medio Ambiente	Clima, pendiente y vegetación.
Otras	Modelo de producción, prácticas de laboreo o no laboreo y presencia de restos de cosechas.

Fuente: Labrador J. (2003).

Según recomendación del “*Soil Conservation Service*” de los Estados Unidos, la permeabilidad se clasifica de la siguiente forma (Tabla 8):



Tabla 8. Clasificación de la permeabilidad de suelos

	Muy lenta	Lenta	Moderadamente lenta	Moderada	Moderadamente elevada	Elevada	Muy elevada
K (cm/h)	< 0,1	0.1 a 0.5	0.5 – 2.0	2.0 – 6.5	6.5 – 12.5	12.5 – 25.0	> 25.0

K= Conductividad hidráulica o coeficiente de permeabilidad.



Para riego agrícola, se recomiendan generalmente los siguientes límites en cuanto al coeficiente de permeabilidad:

- ▶ Suelos con valores de $K < 10^{-6}$ m/sec ó $V_f < 0,5$ cm/h, es decir, que son casi impermeables, no pueden regarse sin mejorar previamente su estructura.
- ▶ Suelos con valores $10^{-6} < K < 5 \times 10^{-6}$ m/sec ó $0,5 < V_f < 1,5$ cm/h, son muy poco permeables y deben regarse con mucha precaución.
- ▶ Suelos con valores $5 \times 10^{-6} < K < 5 \times 10^{-5}$ m/sec ó $1,5 < V_f < 7,5$ cm/h, son moderadamente permeables hasta superficial por escurrimiento, por bordes o surcos.
- ▶ Suelos con valores de $K > 5 \times 10^{-5}$ m/sec ó $V_f > 7,5$ cm/h, son muy permeables y se prestan a ser regados por aspersión.

La pérdida de infiltración del suelo suele presentarse en los primeros centímetros de la superficie del suelo, y se debe principalmente a un contenido relativamente alto de iones de sodio o a un contenido relativamente bajo de iones de calcio tanto en el suelo como en el agua de riego. El contenido en calcio de un suelo puede llegar a reducirse excesivamente por el uso de agua de baja salinidad que disuelve y arrastra el calcio, como por agua de riego con alto contenido de sodio que desequilibra la proporción relativa de sodio y de calcio.

Pero también el alto contenido de grasas y aceites, así como altos contenidos de sólidos presentes en el agua residual pueden afectar la permeabilidad del suelo, provocándoles una



pérdida de infiltración, es decir, una reducción de su capacidad para infiltrar el agua necesaria para el desarrollo de las plantas. En este sentido, es necesario respetar los límites que establece la normatividad vigente, si existe, o las referencias internacionales para el aprovechamiento de aguas residuales en riego agrícola.

Por ejemplo, la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) ha establecido directrices para interpretar la calidad del agua de riego, y en ellas se consideran grados de restricción de uso en función de la concentración de sólidos disueltos totales y sólidos suspendidos totales (Tabla 9).

Tabla 9. Grado de restricción de uso de agua de riego por presencia de sólidos

Parámetro	Grado de restricción		
	Nulo	Ligero o moderado	Severo
Sólidos disueltos totales (mg/L).	<450	450-2000	>2000
Sólidos suspendidos totales (mg/L).	<50	50-100	>100

Fuente: Ayers y Westcot, 1987.

En México, la Norma Oficial Mexicana (NOM-001-SEMARNAT-96), ha establecido límites de contaminantes en aguas residuales que sean descargadas a cuerpos de agua o bienes nacionales, y específicamente con respecto a las aguas residuales que viertan a suelos con uso en riego agrícola, menciona entre otros parámetros a las grasas y aceites (Tabla 10).



Aguas residuales vertidas con presencia de grasas y aceites

Tabla 10. Límites de contaminantes de grasas y aceites para aguas residuales especificados en la normativa Mexicana

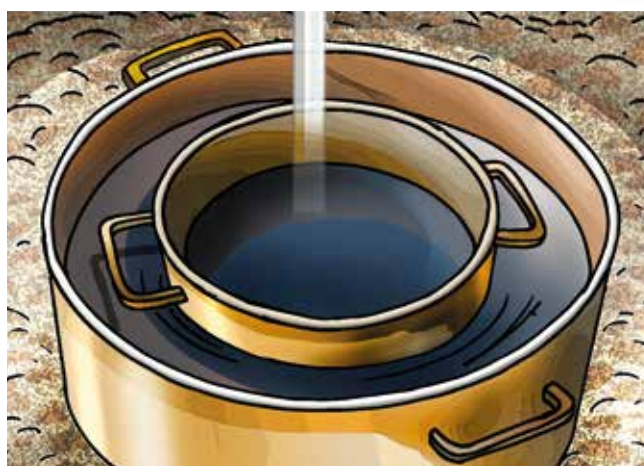
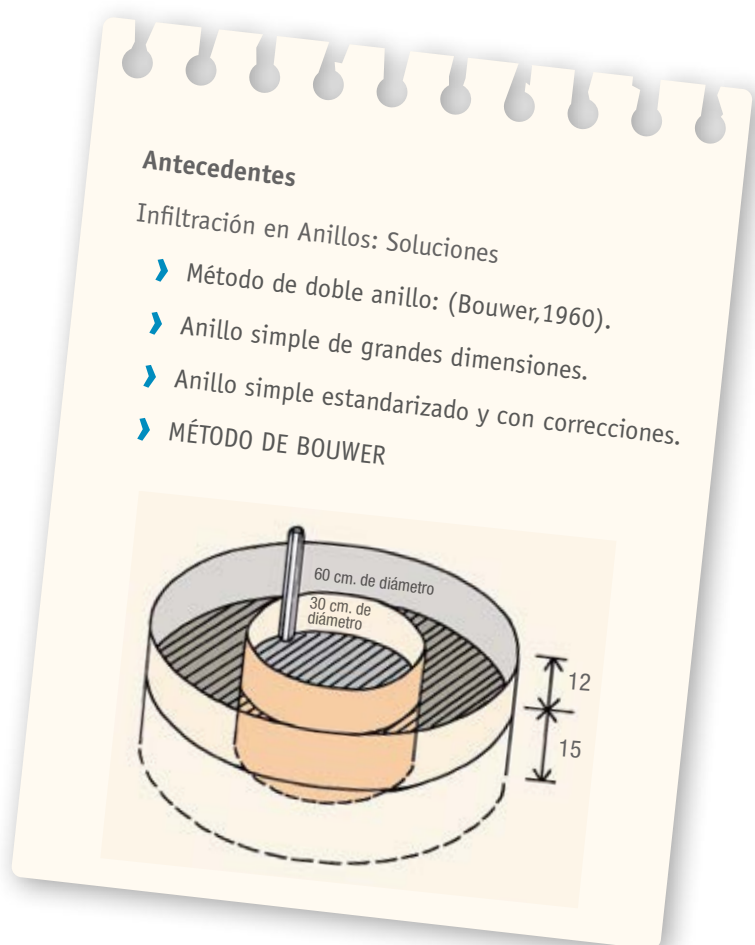
Parámetro	Suelos con uso riego agrícola	
	Promedio diario	Promedio mensual
Grasas y aceites (mg/L) *.	25	15

*Muestra simple promedio ponderado

Fuente: NOM-001-SEMARNAT - 1996.

Para evitar que se produzca una pérdida de infiltración en el suelo que sea atribuible al agua de riego, sobre todo en zonas donde se reúsan las aguas residuales tratadas, es conveniente:

- Determinar la conductividad hidráulica o coeficiente de permeabilidad de los suelos a regar, y con base en ello, planear la forma de aplicación del agua de riego.
- Hacer monitoreo y verificación de la calidad del agua de riego aplicada, poniendo especial atención a los parámetros de sólidos disueltos totales, salinidad, así como grasas y aceites, los cuales no deben rebasar los límites establecidos por la normatividad vigente o los criterios agronómicos de calidad del agua para riego agrícola.
- Vigilar los tiempos de aplicación del riego en las parcelas para evitar que se aplique agua en exceso.
- Adicionalmente, se recomienda combinar las buenas prácticas agrícolas que incluyen un sistema de siembra de cultivo, descanso con siembra de abonos verdes, incorporación de abonos e inicio de ciclo con rotación de cultivos.







Manejo de aguas residuales en la parcela

Los componentes a considerar para el adecuado manejo de las aguas residuales a nivel parcelario son:

- › La selección de cultivos.
- › La selección del método de riego.
- › La adopción de prácticas adecuadas.
- › La adopción de medidas de reducción de riesgos de salud en trabajadores agrícolas.

3.1 Selección de cultivos

En zonas con aprovechamiento de aguas residuales tratadas, la selección de cultivos debe obedecer principalmente a:

- a. Calidad del agua de riego.
- b. Riesgos de salud pública.
- c. Restricciones que imponga la Legislación o Normatividad Vigente o los referentes internacionales.

3.1.1 Selección de cultivos de acuerdo con la calidad del agua

La calidad del agua de riego, tanto desde el punto de vista fisicoquímico y bacteriológico, tiene influencia sobre los cultivos, beneficiándolos o afectándolos.

En la calidad fisicoquímica del agua, se debe poner especial atención a la Conductividad Eléctrica del agua (CE en español y EC en inglés), a la toxicidad por iones específicos como sodio, boro o cloro y a los metales pesados, además de los patógenos (Huevos de Helmintos y Coliformes Fecales).

Ayers y Westcot, 1987, mencionan las directrices para interpretar la calidad del agua de riego que resultan muy útiles para seleccionar los cultivos que se pueden establecer con base en los grados de restricción que presentan las aguas para su uso. Por ejemplo, si el agua de riego tiene una Conductividad Eléctrica (EC) de <0.7 dS/m se pueden regar casi todos los cultivos, excepto aquellos muy sensibles a sales. Y si la EC se encuentra en el rango de 0.7

a 3.0 dS/m, sólo se recomienda sembrar aquellos cultivos que tengan de buena a moderada tolerancia a salinidad (Ver Tabla 3 del apartado 2.2).

No todos los cultivos responden de igual manera a la salinidad, algunos producen rendimientos aceptables a niveles altos de salinidad y otros son sensibles a niveles relativamente bajos, que obedecen a una mejor capacidad de adaptación osmótica que les permite absorber aún bajo condiciones de salinidad una mayor cantidad de agua.

Gramíneas como:

1. *Festuca Arundinacea*, comúnmente llamada pasto festuca, alta o cañuela.
2. *Lolium perenne*, también llamado Pasto Inglés, Pasto Lolium, Raygrass, Ballico, etc.
3. *Cynodón Dactilón* también llamado pasto Bermuda, grama común, pasto del perro, pata de gallo, etc.



▲ Festuca Arundinacea



▲ Lolium perenne



▲ Cynodón Dactilón

Todas estas son plantas forrajeras medianamente resistentes a salinidad de agua y suelo, resultan ideales para su riego con aguas residuales.

Leguminosas como:

1. *Lotus coniculatus*, también llamado Loto corniculado o zapaticos de la virgen.
2. *Trifolium fragiferum*, también llamado trébol fresero, fresa del burro, trébol común.



▲ Lotus coniculatus



▲ Trifolium fragiferum

Estas son leguminosas tolerantes a la salinidad de agua y suelo que responden bien al riego con aguas residuales. Se usan como plantas forrajeras para alimentar al ganado, recomendándose preferentemente su uso en ensilaje. Además, *Lotus coniculatus*, también es utilizado en la apicultura, como fuente de néctar para las abejas.

El daño foliar de las sales presentes en las aguas residuales, utilizadas para el riego por aspersión en las plantas, dependerá de las concentraciones de iones individuales presentes, de la sensibilidad del cultivo, de la frecuencia de las aspersiones, y hasta cierto punto, de los factores ambientales, tales como temperatura, humedad relativa y del estrés hídrico de las plantas antes del riego. Los iones tóxicos contenidos comúnmente en las aguas de riego son el cloro, el sodio y el boro, y los daños pueden ser provocados individualmente o en combinación (Ayers y Westcot, 1987).

Los cloruros presentes en el agua para riego representan un riesgo, ya que son absorbidos por la planta y se acumulan en las hojas, produciendo quemaduras en las hojas cuando su concentración es alta. La toxicidad del cloro puede ocurrir por absorción directa, a través de las hojas de los cultivos regados por aspersión o por la absorción a través de la raíz. En cultivos sensibles, el daño se manifiesta a concentraciones de 0.3 a 1.0%.

En el caso del sodio, concentraciones superiores a 0.25 ó 0.50% en base seca provocan toxicidad en cultivos arbóreos. Y en el caso del boro, los síntomas de toxicidad en la mayoría de los cultivos aparecen cuando la concentración foliar excede 250 ó 300 mg por kilogramo de materia seca.

3.1.1.1 Alternativas de cultivos para aprovechar las aguas residuales con cierto grado de salinidad

La concentración de sales en las aguas residuales limita, muchas veces, su aprovechamiento. Sin embargo, existen plantas denominadas Halófitas, que son resistentes a ciertos grados de salinidad, y pueden sembrarse para generar ingresos entre los productores, cuyo recurso suelo (terreno) presenta marginación productiva por encontrarse ubicados en sitios semi-desérticos o en zonas cercanas a las costas con poca disponibilidad y que cuentan con baja calidad de agua de riego (generalmente por concentraciones de sales en distinto grado).

El término Halófito se refiere a plantas tolerantes a sales. Aunque no existe una definición aceptada de ese término, se usa para clasificar a las plantas que crecen en ambientes con suelos salinos y tienen cierta tolerancia (Orcuitt y Nielsen, 2000).

Las semillas de algunas plantas halófitas como *Salicornia bigelovii* (*dwarf saltwort*, *pickleweed*) contienen un aceite que es apto para la producción de biocombustibles para su uso en la aviación (Rembio.org.mx, 2015).



▲ Salicornias

La *Salicornia bigelovii* es una especie que al estar adaptada a crecer en suelos salinos, permite ser regada con aguas salinas (naturales, residuales o tratadas). Su cultivo extensivo puede contribuir a la disminución en los niveles de salinidad en terrenos agrícolas, ya que la planta adsorbe sales, retirándolas del suelo y su cultivo favorece la preservación del medioambiente. Los desiertos costeros o de tierras adentro podrían ser irrigados con agua salina (residual) para cultivar esta planta. En sitios con aprovechamiento de aguas residuales se recomienda su siembra con fines forrajeros de corte para alimentar al ganado o bien como insumo para la producción de biocombustible.

Debido a la importancia que tiene la actividad agropecuaria en zonas áridas o semiáridas, y los volúmenes cada vez más crecientes de aguas residuales, es importante considerar su reuso para la siembra de forrajes alternativos (Coquia (*Kochia scoparia* L.), frijol yorimon (*Vigna unguiculata* L. Walp), pasto Taiwan (*Pennisetum purpureum* Schum), Nopal (*Opuntia* spp), y pasto salado (*Distichlis Espicata*) entre otros, ya que tienen buena aceptación como forrajes para alimentar al ganado bovino, ovino, caprino, porcino y cunícola. Los cultivos de éstos forrajes han dado altos rendimientos de materia fresca y seca, con poca agua e incluso con agua de baja calidad (con Conductividad Eléctrica mayor a 3 dS/m) (Murillo, *et al*, 2009).

- a. **Coquia** (*Kochia scoparia* L) es una planta dicotiledonia de la familia Amaranthaceae. Es de crecimiento anual, que posee alto contenido de proteína (14 a 26%). Crece en suelos salinos, erosionados y con problemas de humedad. La altura de la planta puede variar entre 15 cm y 2 m. Con sólo 200 mm de agua de lluvia se pueden producir de 40 a 70 ton/ha. Y con riego con 50 a 60 cm de agua que puede ser residual, se puede alcanzar producciones desde los 80 a 130 ton/ha. (materia verde).

La coquia (*Kochia scoparia*) es una planta halófito, como el tamarix, el romerito y el pasto salado. Se desarrolla bien en salinidades menores a 25ds/m, es capaz de soportar descensos de la humedad del suelo hasta de 23.5 bares sin marchitarse. Además, la Coquia con una producción de 25 ton/ha de materia seca, extrae 8 ton/ha de sales del suelo, lo cual la hace útil como mejorador de suelos salinos (CP-CNA, 2004).

Riasi *et al.*, (2008) menciona que *K. scoparia* tiene mejores valores nutricionales y digestivos como forraje para rumiantes en comparación con otras especies halófitas bajo prueba. Jami Al Ahmadi y Kafi, 2008a mencionan que *K. scoparia* es una planta cuyo crecimiento vegetativo rápido bajo condiciones de salinidad (suelo y agua) la hace muy valiosa como un cultivo de forraje no convencional para las regiones semiáridas. En zonas con aprovechamiento de aguas residuales se recomienda hacer cortes y ensilarlo para su posterior alimentación del ganado.



▲ Kochia

b. **Frijol Yorimon** (*Vigna unguiculata* L.Walp), también llamado comúnmente como frijol caupi, pelón, frijol de castilla, frijol del Perú; arveja de vaca, frijol de vaina o chícharo de vaca. Es originario de África y llegó a América a través de los conquistadores. Actualmente se encuentra ampliamente distribuido desde Estados Unidos hasta Sudamérica. Esta planta es una leguminosa perteneciente a la familia de las Fabaceae que se utiliza como buena fuente de proteína, pues contiene un 19 a 26% y se consume tanto por humanos (cocinado como cualquier frijol) y también se utiliza en dietas para ganado, (caprino, bovino, ovino, porcino y en aves de corral), donde se aprovecha casi toda la planta. Se puede sembrar en ambientes de zonas semiáridas hasta subhúmedas (Murillo-Amador *et al.*, 2000). El aumento potencial de su cultivo radica en que es una leguminosa tolerante a la sequía y salinidad (Graham y Vance, 2003).



▲ Frijol yorimon

En zonas con aprovechamiento de aguas residuales se recomienda preferentemente sembrarlo y ensilarlo para alimentación del ganado o bien usarlo para la preparación de harinas para complementar la dieta del ganado. Sin embargo, también se puede utilizar para la alimentación humana, ya que el frijol pasa por un proceso de secado y almacenaje, y posteriormente, de cocimiento antes de ser consumido, en el cual se elimina cualquier riesgo de salud.

c. **Pasto Taiwan** (*Pennisetum purpureum* Schum) conocido comúnmente con nombres como pasto elefante o Maralfalfa. Es una gramínea que pertenece a la familia de las Poaceae. Originario de África e introducido a América donde se encuentra ampliamente distribuido en zonas tropicales y subtropicales (Araya y Boschini, 2005). Este pasto se adapta bien a suelos pobres en materia orgánica y en suelos con texturas desde las franco-arcillosas a franco-arenosas. Se puede encontrar sembrado a casi nivel del mar hasta los 2200 msnm. Es un cultivo forrajero de buena calidad nutricional y muy buena aceptación en la alimentación del ganado, por ser un pasto dulce con 12% de carbohidratos y 17% de proteína en base seca. Es un pasto que también se ha usado para la producción de biocombustibles. Asimismo, es un cultivo perenne que forma



▲ Pasto Taiwan

macollos, cuyos tallos alcanzan hasta 2.5 m de altura. Sus hojas alcanzan 1 m de largo y 4 cm de ancho. El riego de esta planta se puede realizar con aguas limpias o con aguas residuales, sin que esto afecte su productividad. Ramos et al, 2011, mencionan que el pasto Taiwan regado con aguas residuales porcinas lograron mejorar su rendimiento. Soto (2003) menciona que se pueden obtener rendimientos de 40 ton/ha de materia seca/año y hasta 120 ton/ha., en materia verde/año.

En zonas con aprovechamiento de aguas residuales se recomienda ensilarlo o henificarlos para su posterior alimentación del ganado o bien venderlo para la producción de biocombustibles.

- d. **Nopal** (*Opuntia spp*) comúnmente conocido como: nopal, cardón, chumbera, chumbo, chumbua, higo chumbo, higo de pala, higuera de pala. Es una planta perenne, originaria de México y pertenece a la familia de las Cactáceas. Los nopales se han adaptado perfectamente a zonas áridas caracterizadas por condiciones secas, lluvia errática y suelos pobres expuestos a la erosión. Los nopales se desarrollan bien en suelos profundos con texturas suaves, incluyendo arenas gruesas, pero la arcilla aunada a condiciones de encharcamiento por drenaje deficiente se consideran limitantes para su producción. Los nopales toleran valores relativamente altos de pH (hasta 8,5), pero la Conductividad Eléctrica máxima del suelo no debe exceder los 5-6 mS/cm (Le Houérou, 1992).

El nopal es una planta carnosa y gruesa de formas diversas, con ramas articuladas, presenta hojas convertidas en espinas lo cual es un rasgo común en las cactáceas o bien carece de ellas. Y tiene diversos usos, dependiendo de la variedad establecida, algunas son para verdura de consumo humano, otras para consumo animal y algunas para la industria farmacéutica y cosmética.

Su importancia en el sector ganadero radica en que es una fuente de forraje extremadamente útil en temporadas de estiaje (sequía), porque provee de energía digerible, agua y vitaminas para el ganado bovino, caprino, ovino y porcino. Sin embargo, debe ser combinado con otros alimentos para complementar la dieta diaria, debido a que *Opuntia* tiene bajos contenidos de proteína, a pesar de ser rica en carbohidratos y calcio. Nobel (1995) menciona que el nopal es un buen alimento por su eficiencia al convertir el agua en materia seca, y por tanto, en energía digestible. Existen variedades con y sin espinas, y en éstas últimas, se requiere que las espinas sean retiradas o quemadas antes de ofrecer al ganado.



▲ Cultivo de nopal

Cuando se cultiva con fines comerciales, es necesario que la plantación reciba una cantidad de agua de manera controlada, para que tenga brotes permanentes durante todo el año. Las nopaleras bien atendidas, plantadas con 2.500 plantas por hectárea pueden producir arriba de 100 t/ha (en verde) después del quinto año de plantación. Opuntia es el único forraje que puede ser almacenado “vivo”, ya que si se deja en el campo continúa creciendo sin perder valor nutritivo.

En zonas con aprovechamiento de aguas residuales, lo ideal es sembrar variedades para la industria o para forraje de animales. En zonas donde se hayan establecido variedades para forraje, se recomienda cortar los cladiolos, eliminar las espinas usando leña o un quemador de gas (lo que también sirve para eliminar patógenos), para posteriormente picarlos y ofrecerlos a los animales, preferentemente en combinación con rastrojos de sorgo o maíz, para un mejor balance nutricional, así se notará las ganancias en los ganaderos.

- e. **El zacate salado**, también llamado pasto puna o pasto de salitral, cuyo nombre científico es *Distichlis Espicata* es otra halófito con gran potencial a ser utilizado como forraje para ganado, como cultivo para mejorar suelos con problemas de salinidad, o bien para su siembra en zonas con problemas de suelos y aguas salinas. (Shahba *et al*, 2008).

El zacate salado pertenece a la familia Poaceae. Es una planta perenne que forma extensas colonias, suele ser pequeña (hasta 60 cm de alto), tiene espiguillas largas y lateralmente comprimidas. Las flores son muy pequeñas, se encuentran cubiertas por una serie de brácteas y cuya semilla es fusionada a la pared del fruto (USDA, 2008), y florea durante todo el año (McVaugh, 1983).

Distichlis Espicata es originaria de América y se puede encontrar de manera natural o cultivada desde Canadá hasta Argentina. Este pasto puede ser cultivado y regado con aguas residuales, realizando cortes y henificándolo para posteriormente dar de comer al ganado.

Existen trabajos que indican que el pasto salado es utilizado en la preparación de dietas para engordar al ganado. Ha tenido muy buena aceptación en bovinos o borregos Pelibuey (Mellink y Quintanilla, 1979). Sin embargo, dado que el pasto salado es pobre en proteínas (6.4%) y energía digestible (2.13 Mcal/kg), se recomienda aumentar su digestibilidad tratándolo con gas amoníaco anhidro (3.5% en base seca) durante la henificación (28 días y 7 días de aireación posterior antes de su picado o molido para preparar las dietas del ganado) (Linares, *et al* 1986).



▲ Pasto salado

3.1.1.2 Alternativas de cultivos para aprovechar aguas residuales con cierto grado de toxicidad (Sodio, cloruro y boro)

La toxicidad en cultivos se presenta cuando el ion tóxico específico en el agua de riego se acumula en los tejidos de las plantas, produciendo daños y síntomas visibles. Las aguas residuales pueden contener iones tóxicos como sodio, cloro y boro. La mayor parte de los problemas de toxicidad están asociados a alta salinidad. La respuesta de los cultivos a la toxicidad de iones específicos va a depender de su tolerancia.

La toxicidad de los cultivos se observa más cuando se usan sistemas presurizados que se aplican al agua por superficie (gravedad). Esto debido a que la toxicidad normalmente se manifiesta en las hojas de las plantas, donde las gotas de los aspersores inciden directamente. Por ejemplo, una concentración de cloro residual Cl_2 inferior a 1.0 mg/L no debería causar daño en las hojas de las plantas, pero concentraciones de 5.0 mg/L., si produce quemaduras.

En las tablas 4 y 5 del apartado 2.2 se puede consultar un listado de cultivos sensibles a iones específicos.



▲ Pasto festuca



▲ Rye grass



▲ Pasto bermuda

Generalmente, los árboles y arbustos ornamentales son sensibles al sodio y a los cloruros. Mientras que algunas gramíneas como Festuca Arundinacea, Lolium perenne, Cynodon dactilón son forrajes relativamente tolerantes a la salinidad y al boro.

Las técnicas para el uso seguro de aguas residuales que contengan iones específicos y que además puedan causar problemas de toxicidad, son resultado de una combinación de medidas que permiten reducir los riesgos. Por ejemplo, en caso de presencia de cloro residual, lo mejor es almacenar el agua en un estanque algunas horas antes de aplicar el riego. Otra medida es aplicar el riego por gravedad o por microaspersión o goteo, donde el agua aplicada humedezca sólo el bulbo de raíces y no entre en contacto con el follaje de la planta.

Asimismo, otra medida que resulta útil es el mejoramiento del sistema de drenaje (natural o artificial) de la parcela. Y si, tomando todas estas medidas no ha sido suficiente para producir buenas cosechas, entonces lo mejor será cambiar de cultivo por alguno más tolerante al ion tóxico presente en el agua de riego.

La clasificación del grado de restricción del agua de riego por iones tóxicos se detalla en la tabla 11.

Tabla 11. Grado de restricción del agua de riego por presencia de iones tóxicos.

Toxicidad por iones específicos	Unidades	Grado de restricción en el uso del agua de riego		
		Ninguno	Débil a moderado	elevado
Sodio (Na) que Afecta a cultivos sensibles	TAS* Riego superficial	<3	3-9	>9
	mg/L Riego por aspersión	<70	>70	
Cloruros (Cl) que Afecta a cultivos sensibles	mg/L Riego superficial	<140	140-350	>350
	mg/L Riego por aspersión	<100	>100	
Cloro residual sólo en aspersión elevada	mg/L	<1.0	1-5	>5.0
Boro (B)	mg/L	<0.7	0.7-3.0	>3.0

Fuente: Adaptado del informe de la University of California Committee Consultants (1974) y de Ayers y Wescott, 1987.

TAS= Tasa de Absorción de Sodio.

3.1.2 Selección de cultivos considerando los riesgos de salud pública

Los riesgos de salud pública, relacionados a productos agrícolas contaminados, están asociados a la contaminación por patógenos (bacterias y parásitos) presentes en el agua de riego que causan problemas gastrointestinales. Por lo tanto, dependiendo de la calidad bacteriológica de la fuente de agua utilizada para el riego agrícola, se deberá seleccionar también el cultivo.

La clasificación de riesgos de salud asociados al reúso con aguas residuales va de bajo, medio y alto, de acuerdo al tipo de cultivo y su destino. Es decir, si es para consumo humano, para consumo animal o para industrializar, pero también en función del grupo expuesto (trabajadores agrícolas y consumidores) (ver Tabla 12).

Con aguas de baja calidad bacteriológica sólo podrán ser regados cultivos que no sean de consumo humano directo, seleccionando en tal caso, preferentemente cultivos forestales para producir madera o materia prima para la industria, cultivos forrajeros de ciclo largo como los perennes (alfalfas y otros), cultivados en praderas donde no se practique el pastoreo directo del ganado. También se puede seleccionar cultivos que requieran pasar por un proceso de agroindustrialización, como ejemplo se pueden mencionar los cereales de granos secos y algunas oleaginosas. Con ello se contribuye a reducir los riesgos de salud pública.

Tabla 12. Clasificación de riesgos de salud asociados a cultivos y prácticas de manejo

Cultivos/Destino	Riesgo bajo/grupo expuesto	Riesgo medio/grupo expuesto	Riesgo alto/grupo expuesto
Frutas que se consumen con cáscara (guayabas, duraznos, peras, manzanas, uvas etc., y hortalizas y verduras de consumo humano en crudo (zanahorias, chiles, cebolla, lechuga, espinaca, tomate rojo, cilantro, perejil, etc.).	<p>Para trabajadores agrícolas que utilizan prendas de protección (botas de plástico, guantes y tapa boca), cuando el cultivo es producido a cielo abierto, sembrado en camas o surcos anchos y regado por sistemas de baja presión (microaspersión o goteo), o bien el cultivo es producido en invernadero, con sistema de riego presurizado automático. En cielo abierto como en invernadero se utilizan prácticas de entutorado o acolchado plástico. Cuando en ambos sistemas la cosecha sea manual.</p> <p>Y para consumidores cuando son lavadas antes de ser consumidas en crudo.</p>	<p>Para trabajadores agrícolas que al menos usan botas de plástico, cuando el cultivo es producido en exterior (campo a cielo abierto), con sistema de riego por gravedad, cuando el cultivo se siembra en camas o en surcos anchos, y la planta se desarrolla sobre el lomo del surco o el centro de la cama, si al menos se utiliza alguna práctica como el entutorado o acolchado plástico y la cosecha es manual.</p> <p>Y para consumidores cuando sólo son enjuagadas antes de su consumo en crudo.</p>	<p>Para trabajadores agrícolas que no usan ninguna prenda de protección, cuando el cultivo es producido en exterior (campo a cielo), regado por gravedad, sin ninguna práctica que evite el contacto del agua con el producto o fruto. Y la cosecha es manual.</p> <p>Y para consumidores que ni lavan ni desinfectan los productos y que además los ingieren crudos.</p>
Cereales (arroz) y Maíz para consumo como elote (choclo), algunas frutas con cáscara (mango, naranjas, mandarinas, melón, sandía, papaya y pepino) y hortalizas que tienen piel gruesa, espinas o se desarrollan en vainas (chayotes, papas, habas, chícharos, entre otras), y éstas se eliminan y cocinan para su consumo, y cultivos forrajeros (alfalfa y pastos).	<p>Para trabajadores agrícolas cuando las labores de preparación del terreno, siembra y cosecha son mecanizadas, y cuando el riego es por aspersión y opera de manera automática.</p> <p>Para consumidores no hay riesgos por que a las frutas se les retira la cáscara, y el elote (choclo) el arroz y las hortalizas se consumen cocidas.</p>	<p>Para regadores que al menos usan botas de plástico y/o guantes, cuando el cultivo es producido en exterior (campo a cielo abierto), con sistema de riego por gravedad, cuando el cultivo se siembra en camas o en surcos angostos. Para jornaleros recolectores de elotes (choclos), frutas y verduras y para cortadores (de alfalfa y pastos) que sólo usan botas de plástico y la cosecha se realiza manualmente.</p>	<p>Para regadores que no usan ninguna prenda de protección, cuando el cultivo es producido en exterior, regado por gravedad, anegando la parcela (arroz y forrajeros), sin ninguna práctica que evite el contacto del agua con el producto o fruto, en el caso de frutas y hortalizas. Y cuando no se suprime el riego dos semanas antes de la cosecha, en el caso de arroz. Para jornaleros que no usan ninguna prenda de protección y que participan en los cortes y/o en la cosecha del cultivo y ésta se realiza en forma manual y aún hay mucha humedad en la parcela (suelo-planta).</p> <p>Para peones que no usan prendas de protección y acarrear la alfalfa o pasto fresco (recién cortado) para dar a los animales.</p>

<p>Cultivos para la industria (algodón, cítricos, soya, cártamo, canola, aceitunas, alcaparras, elotitos, champiñones, chiles, zanahorias, cebollas, etc., para enlatarlos o envasarlos.</p>	<p>Para trabajadores agrícolas cuando las labores de preparación del terreno, siembra y manejo del cultivo son mecanizadas, y cuando el riego es por aspersión y opera de manera automática. Producidas a cielo abierto o en invernadero.</p> <p>El riego se suprime dos semanas antes de la cosecha y ésta es mecanizada. Para consumidores no hay riesgos por que los cultivos pasan por un proceso industrial que elimina los riesgos sanitarios.</p>	<p>Para trabajadores agrícolas que usan algunas prendas de protección como botas de hule y/o guantes. La producción es a cielo abierto y cuando las labores de preparación del terreno, siembra, manejo del cultivo y la cosecha se realizan manualmente. El riego es por gravedad y las plantas crecen sobre surcos anchos o camas.</p>	<p>Para regadores que no usan ninguna prenda de protección, cuando el cultivo es producido en exterior, regado por gravedad o aspersión (alta presión) sin ninguna práctica que evite el contacto del agua con el producto o fruto y cuando los dos últimos riegos no se den con agua de mejor calidad en el caso de frutas y hortalizas. Y cuando no se suprime el riego dos semanas antes de la cosecha, en el caso de arroz, algodón, soya, cártamo y canola).</p> <p>Para jornaleros que no usan ninguna prenda de protección y que participan en los cortes y/o en la cosecha del cultivo y ésta se realiza en forma manual</p>
--	--	--	--

Fuente: Elaboración propia.



▲ Cultivos para consumo humano



▲ Cultivos para consumo animal



▲ Cultivos para la industria

3.1.2.1 Selección de cultivos considerando las restricciones legales o normativas

Algunos países han legislado sobre los límites de contaminantes que deben contener aguas residuales para reúso en agricultura. Tal es el caso de la Normatividad Mexicana en materia de riego, que a través de la NOM-001-SEMARNAT-1996, establece y define lo siguiente (Tabla 13):

Tabla 13. Límites de contaminantes patógenos (NOM-001-SEMARNAT-96.)

Parámetros	Unidad (NMP/100 ml)	
	Promedio Mensual (PM)	Promedio diario (PD)
Coliformes Fecales (C.F)	2000	1000
	Unidad Huevos de Helmintos (H.H)/L.	
	Riego Restringido	Riego no restringido
Huevos de Helmintos (H.H)	5	1

Fuente: Adaptado de NOM-001-SEMARNAT-1996

En la misma norma mexicana citada anteriormente se establece una restricción en cuanto a cultivos que es posible regar de acuerdo con la calidad bacteriológica del agua, misma que se puede utilizar como referente para Bolivia.

En este sentido, se definen las siguientes restricciones del riego:

Riego restringido: La utilización de agua residual destinada a la actividad de siembra, cultivo y cosecha de productos agrícolas, excepto legumbres y verduras que se consumen crudas.

Riego No restringido: La utilización del agua residual destinada a la actividad de siembra, cultivo y cosecha de productos agrícolas en forma ilimitada como forrajes, granos, frutas, legumbres y verduras.

En este mismo contexto, Cisneros *et al*, 2008 menciona algunos cultivos que se pueden regar de acuerdo con la clasificación del riego, como se muestra a continuación:

Ilustración 2. Cultivos que se pueden regar mediante riego restringido



Ilustración 3. Cultivos que se pueden regar mediante riego no restringido.



Una cosa que también vale la pena considerar en todo proyecto de reúso de aguas residuales es el patrón de cultivos que existen en la zona, y la razón para ello, es que éstos ya están adaptados a las condiciones locales de clima y suelo, además de la experiencia que la gente tiene en su producción. A partir de esa información, se puede generar la estrategia para el uso seguro de las aguas residuales en la zona, informando a los productores sobre las ventajas y desventajas de continuar con el patrón existente con base en los datos de calidad del agua, de la tolerancia de los cultivos a los elementos que contengan las aguas residuales y con base en los riesgos de salud pública. En este contexto, es importante llegar a consensos con los propios productores sobre la selección de cultivos más apropiada para la zona de reúso. Además de establecer las prácticas de manejo de los cultivos que se requieran para asegurar un adecuado reúso, disminuyendo los riesgos de salud asociados.



▲ Preparación de terrenos para el riego. Tarata, Cochabamba



▲ Riego con aguas residuales. Quillacollo, Cochabamba

3.2 Análisis de tecnología de producción de cultivos de Bolivia y sugerencias de mejora para disminuir riesgos por el uso de las aguas residuales.

Fase del desarrollo	CEBOLLA	
	ACTUALMENTE SE HACE	SUGERENCIA
Preparación de terreno	<ul style="list-style-type: none"> Riego para preparación de terreno: Aplicación de altas dosis de riego (150 mm) por inundación en cajetas. Arado profundo (40 cm) con arado de disco y rastrado (mullido) con tractor. Nivelación del terreno en forma manual o con yunta. Conformación de surcos a 30 cm y una profundidad de 15 cm. 	<ul style="list-style-type: none"> Se recomienda uso de prendas de protección, botas de hule, guantes y tapabocas *. Arado a una profundidad de 30 cm. Uso de película plástica para solarizar el terreno previo al trasplante. Surcos de 30 cm de ancho y profundidad de 25 cm. o siembra en camas de 1.20 m de ancho por 30 cm de alto y 70 m de largo con separación de 80 cm entre ellas, si las labores son manuales y de 1.60 m si son hechas con maquinaria agrícola. Riego de pre-siembra (100 mm) conducidos por el fondo del surco, con cierre en el extremo final.
Periodo Inicial	<p>0 a 30 ddt</p> <ul style="list-style-type: none"> Riego antes del trasplante. Trasplante: Manual a una distancia entre hileras 30 cm y entre plantas 10 cm. 3 riegos: Se aplica por surcos con una frecuencia entre 7 a 10 días. Deshierbe y aplicación de fertilizantes. 	<ul style="list-style-type: none"> Trasplante sobre el lomo del surco. Distancia entre hileras 20 cm y entre plantas 12 cm. Frecuencia entre riegos 8 a 12 días, ligeros y conducidos por el fondo del surco con cierre en la cabecera. No aplicar fertilizantes que contengan nitrato de sodio o cloruro de potasio.
Fase de desarrollo	<p>30 a 75 ddt</p> <ul style="list-style-type: none"> 4 riegos por surcos. Deshierbe y aporque manual. Tratamiento fitosanitario (insecticida + fungicida sistémico) contra mildiu. Segunda fertilización con abono compuesto (15-15-15). 	<ul style="list-style-type: none"> Riegos ligeros conducidos por el fondo del surco con cierre en el extremo final. No aplicar fertilizantes que contengan nitrato de sodio o cloruro de potasio.
Fase de maduración	<p>75 a 120 ddt</p> <ul style="list-style-type: none"> 4 riegos por surcos. Tratamiento fitosanitario (insecticida + fungicida sistémico) contra mildiu e insectos. Deshierbe y aporque manual. Fertilización química hasta alcanzar un nivel de NPK de 130-98-75. Cosecha manual y lavado de los bulbos, incluido el tallo. En caso de producción de cebolla en cabeza, se realiza el curado o doblado del tallo para curado 	<ul style="list-style-type: none"> 2 riegos con agua de mejor calidad de ser posible. Y supresión del último riego 2 semanas antes de la cosecha. No aplicar fertilizantes que contengan nitrato de sodio o cloruro de potasio. Curado post-cosecha en campo mediante solarización cuando las temperaturas alcancen cuando menos 24°C por 2 a 3 días, teniendo cuidado de remover los bulbos 1 vez al día (esta práctica sólo aplica en época de estiaje). En periodo de lluvias se recomienda curar la cebolla en ambiente cerrado con aire forzado por 12 horas (1m3/min/m3 de cebolla). También se pueden curar almacenándolas a 0°C por 15 a 30 días.

ddt= Días después del trasplante. dds=Días después de la siembra. *Su uso es durante todo el ciclo.

Fase del desarrollo	ZANAHORIA	
	ACTUALMENTE SE HACE	SUGERENCIA
Preparación de terreno	<ul style="list-style-type: none"> Riego de preparación del terreno: Aplicación de altas dosis de riego (150 mm) por inundación. Arado profundo (25 a 30 cm) con arado de disco, rastrado y rotobator (mullido) con tractor. Nivelado del terreno con yunta, libre de piedras y terrones. Conformación de eras de 2 m de ancho por 25 a 50 m de largo. En otros casos, se practica la siembra por surcos con una distancia entre plantas de 4 a 8 cm y 20 cm entre hileras dobles a triples. 	<ul style="list-style-type: none"> Se recomienda uso de prendas de protección, botas de hule, guantes y tapabocas*. Arado a una profundidad de 30 cm. Uso de película plástica para solarizar el terreno previo a la siembra. Siembra en camas, o canteros o de 1.20 a 1.50 m de ancho por 30 cm de altura y hasta 70 m de largo con separación de 80 cm entre ellas, si las labores son manuales y de 1.50 m si son hechas con maquinaria agrícola. Con 4 a 5 hileras separadas cada 20 a 25 cm con separación entre plantas de 10 cm. Surcos de 40 cm y 30 cm de altura, siembra sobre el lomo con 2 hileras, con distancia entre plantas de 8-10 cm, distancia entre surcos de 70-80 cm si las labores son manuales o 1.50 m si son hechas con maquinaria. Riego de pre-siembra (100 mm) conducidos por el fondo del surco, con cierre en el extremo final.
Periodo Inicial	<p>0 a 20 dds</p> <ul style="list-style-type: none"> Abonado. Riego antes de la siembra. Siembra al voleo (distancia entre plantas 15 a 20 cm). Tapado con paja. 4 riegos: Se aplica con regadera. En otros casos se utiliza herbicida antes de la siembra. 	<ul style="list-style-type: none"> Abonado sólo con abonos verdes o cascarilla de arroz o rastrojos de avena, picados. Siembra sobre el lomo del surco, en seco, o al menos, 12 horas después del riego de la pre-siembra. Distancia entre hileras 20 cm y entre plantas 12 cm. Riegos cada 5- 6 días, ligeros y conducidos por el fondo del surco con cierre en la cabecera. No aplicar fertilizantes que contengan nitrato de sodio o cloruro de potasio.
Fase de desarrollo	<p>21 a 70 dds</p> <ul style="list-style-type: none"> Desatape de la cobertura con paja. 6 a 7 riegos por eras (platabandas). Carpida y deshierbe. Tratamiento fitosanitario con insecticida + fungicida contra pulgones, nematodos y Sclerotinia (putrefacción de la raíz). Fertilización (18-46-0). En otros casos se aplica herbicidas en esta estadía. 	<ul style="list-style-type: none"> Riegos ligeros conducidos por el fondo del surco con cierre en la cabecera. Frecuencia entre riegos 7 a 10 días. No aplicar fertilizantes que contengan nitrato de sodio o cloruro de potasio.
Fase de maduración	<p>71 a 100 dds</p> <ul style="list-style-type: none"> 4 riegos por era (platabandas). Tratamiento fitosanitario con insecticida + fungicida contra mosca de la zanahoria, nematodos y Mildiu. Deshierbe y aporque manual. Fertilización con Urea. Cosecha manual con cavadores, lavado, selección y embolsado. 	<ul style="list-style-type: none"> 2 riegos con agua de mejor calidad de ser posible. Y supresión del último riego 2 días antes de la cosecha. No aplicar fertilizantes que contengan nitrato de sodio o cloruro de potasio. Cosecha cuando la humedad del suelo haya bajado al menos al 50%. Eliminar zanahorias dañadas o rajadas, eliminar follaje y lavar antes de comercializar.

ddt= Días después del trasplante. dds=Días después de la siembra. *Su uso es durante todo el ciclo.

Fase del desarrollo	LECHUGA	
	ACTUALMENTE SE HACE	SUGERENCIA
Preparación de terreno	<ul style="list-style-type: none"> Riego de preparación del terreno: Aplicación de altas dosis de riego (150 mm) por inundación. Arado superficial (20 cm) con arado de disco y rastrado (mullido) con tractor. Nivelado del terreno con yunta. Conformación de surcos a 50 cm y una profundidad de 15 cm. En otros casos se conforman platabandas de 2 m de ancho por 50 de largo. 	<ul style="list-style-type: none"> Se recomienda uso de prendas de protección, botas de hule, guantes y tapabocas*. Uso de película plástica para solarizar el terreno previo al trasplante. Siembra en camas o canteros de 1.20 a 1.50 m de ancho por 30 cm de altura y hasta 70m de largo. 0 surcos anchos de 40 cm y 25 cm de profundidad. Uso de acolchados plásticos con orificios para el trasplante. Riego de preparación del terreno: con riego (100 mm) conducidos por el fondo del surco con cierre en el extremo final del surco.
Periodo Inicial	<p>0 a 7 dds</p> <ul style="list-style-type: none"> Periodo de germinación. Riego moderado con micro aspersor o regadera. <p>8 a 25 ddt</p> <ul style="list-style-type: none"> Riego durante el trasplante. Realizar camellones a 25 cm de altura para evitar los hongos. Trasplante: Manual a una distancia entre hileras 30 cm y entre plantas 25 cm (2 a 3 plantas antes de cada hilera). Abonado durante el trasplante. 5 a 6 riegos por surco. Deshierbe y aplicación de fertilizante (8-15-15). 	<ul style="list-style-type: none"> Abonado previo al trasplante y no aplicar fertilizantes que contengan nitrato de sodio o cloruro de potasio. Riego ligero previo o después del trasplante. Riegos ligeros conducidos por el fondo del surco con cierre en el extremo final.
Fase de desarrollo	<p>26 a 40 ddt</p> <ul style="list-style-type: none"> 5 riegos: Se aplica por surcos con una frecuencia entre 4 a 5 días. Deshierbe y aplicación de fertilizante variando la dosis de N-P-K. Tratamiento fitosanitario contra el Trips, Minadores, Mosca Blanca y Pulgones. 	<p>26 a 40 ddt</p> <ul style="list-style-type: none"> Riegos ligeros conducidos por el fondo del surco con cierre en la cabecera. No aplicar fertilizantes que contengan nitrato de sodio o cloruro de potasio.
Fase de maduración	<p>41 a 60 ddt</p> <ul style="list-style-type: none"> 4 a 5 riegos por surcos. Tratamiento fitosanitario contra Botritis y Mildiu. Deshierbe y aporque manual. Corte del tallo, recolección manual y lavado. Embolsado en canastas para su preservación del aplastamiento y deterioro. 	<p>41 a 60 ddt</p> <ul style="list-style-type: none"> 2 riegos con agua de mejor calidad de ser posible. Y supresión del último riego al menos de 1-2 días antes de la cosecha. No colocar las lechugas cosechadas sobre el suelo, retirar 3-4 capas de hojas y embolsar antes de enviar al mercado.

ddt= Días después del trasplante. dds=Días después de la siembra.*Su uso es durante todo el ciclo.

Fase del desarrollo	TOMATE	
	ACTUALMENTE SE HACE	SUGERENCIA
Preparación de terreno	<ul style="list-style-type: none"> Riego de preparación del terreno: Aplicación de altas dosis de riego (150 mm) por inundación. Arado profundo (40 cm) con arado de disco y rastrado (mullido) con tractor. Nivelado del terreno con yunta. Conformación de surcos a 50 cm y una profundidad de 15 cm. 	<ul style="list-style-type: none"> Se recomienda uso de prendas de protección, botas de hule, guantes y tapabocas*. Uso de película plástica para solarizar el terreno previo al trasplante. Surcos anchos 50 cm de ancho por 30 de alto. 0 camas de siembra de 1.20-1.50 m de ancho por 30-40 altura. Con una distancia de 80 cm entre surcos o 1-1.5 m entre camas. Uso de acolchados plásticos sobre surcos o camas; con orificios para el trasplante o siembra de semilla. Riego de pre-siembra con 100 mm, conducidos por el fondo del surco con cierre en el extremo final del surco.
Periodo Inicial	<p>0 a 21 ddt</p> <ul style="list-style-type: none"> Riego antes del trasplante. Trasplante: Manual a una distancia entre hileras 50 cm y entre plantas 30 cm. Abonado durante el trasplante. 6 riegos: Se aplica por surcos con una frecuencia entre 3 a 4 días. Deshierbe y aplicación de fertilizante foliar. 	<ul style="list-style-type: none"> Riegos ligeros conducidos por el fondo del surco con cierre en extremo final. Trasplante cuando menos 12 hrs. después del riego. Distancia entre hileras de 1-1.5 m y distancia entre plantas de 50 cm. Colocación de la plántula a 2 hileras, cercanas a los bordes de la cama. No aplicar fertilizantes que contengan nitrato de sodio o cloruro de potasio. No se recomienda fertilización foliar con uso de aguas residuales.
Fase de desarrollo	<p>22 a 49 ddt</p> <ul style="list-style-type: none"> Fase vegetativa 5 riegos por surco. Primera carpida. Tratamiento fitosanitario con insecticida (Bertimex) y fungicida (Cabriotoc). Aplicación de fertilizante (20-20). Plantado de tutores y alambrado. <p>51 a 80 ddt</p> <ul style="list-style-type: none"> Fase de floración 8 riegos por surco. Segunda carpida y aporque. Tratamiento fitosanitario con insecticida (Ingeo y Bel) y fungicida (Coraza). Aplicación de fertilizante (Urea). 	<ul style="list-style-type: none"> No aplicar fertilizantes que contengan nitrato de sodio o cloruro de potasio. Tutorear con líneas pareadas con hilo de polipropileno (rafia con tratamiento UV) sujeto de un extremo a la zona basal de la planta (puede ser liado, anudado o sujeto con anillas que no dañen el tallo) y de otro a una línea de alambre situada por encima de la planta (1.8-2.4 m sobre el suelo). Riegos ligeros conducidos por el fondo del surco con cierre en el extremo final del surco.
Fase de maduración	<p>81 a 100 ddt</p> <ul style="list-style-type: none"> 7 riegos por surco. Tratamiento fitosanitario con insecticida (bertimex) y fungicida (Casume). 10 a 12 cosechas de forma manual, selección y encajonado. Recojo de tutores - alambre y guardado. 	<ul style="list-style-type: none"> Riegos ligeros conducidos por el fondo del surco con cierre en el extremo final. No regar al menos de 1-2 días antes de la cosecha. No colocar tomates cosechados sobre el suelo. Eliminar tomates dañados o rajados. Se puede almacenar en condiciones controladas con temperaturas de 10-15°C y humedad del 85-90%. Por máximo 10 días.

ddt= Días después del trasplante. dds=Días después de la siembra. .*Su uso es durante todo el ciclo.

Fase del desarrollo	PAPA	
	ACTUALMENTE SE HACE	SUGERENCIA
Preparación de terreno	<ul style="list-style-type: none"> Riego para preparación de terreno: Aplicación de altas dosis de riego (150 mm) por inundación en cajetas. Arado profundo (30 cm) con arado de disco y rastrado (mullido) con tractor. Nivelación del terreno en forma manual o con yunta. Conformación de surcos a 30 cm y una profundidad de 15 cm. Desinfección de la semilla con Busan y Vitavax e inmersión de 3 a 5 minutos de la semilla. Secado posterior bajo sombra. 	<ul style="list-style-type: none"> Se recomienda uso de prendas de protección, botas de hule, guantes y tapabocas*. Uso de película plástica para solarizar el terreno previo al trasplante. Surcos anchos de 40 cm por 30 cm de profundidad. Con una distancia de 80 cm entre surcos. Sembrando la papa-semilla al centro. 0 en camas de siembra de 1.20-1.50 m de ancho por 30-40 altura. Con una distancia de 1-1.5 m entre camas. En ambos casos la distancia entre plantas de 30 cm. Uso de acolchados plásticos sobre surcos o camas, con orificios para el trasplante o siembra de semilla-papa. Riego de pre-siembra con 100 mm por gravedad conducidos por el fondo del surco, con cierre en el extremo final del surco.
Periodo Inicial	<p>0 a 15 dds</p> <ul style="list-style-type: none"> Sembrado Manual a una distancia entre hileras 70 cm y entre plantas 30 cm. Aplicación de guano y urea durante la siembra. 1 riego: Se aplica por surco, germinada la planta. 	<ul style="list-style-type: none"> Se recomienda uso de acolchados plásticos con orificios para la colocación de la papa-semilla. El abonado se sugiere sea con abonos verdes incorporados antes de la siembra. No se recomiendan abonos de animales frescos. Riegos ligeros conducidos por el fondo del surco con cierre en el extremo final.
Fase de desarrollo	<p>16 a 90 dds</p> <ul style="list-style-type: none"> 10 riegos: Un riego por semana. Primer aporque a los 50 a 60 días. Tratamiento fitosanitario con insecticida (Todoron y Espartaco) para pulgones y polilla + fungicida (Coraza). Fertilización foliar con multifer . 	<ul style="list-style-type: none"> Riegos ligeros conducidos por el fondo del surco con cierre en la el extremo final. No aplicar fertilizantes que contengan nitrato de sodio o cloruro de potasio.
Fase de maduración	<p>91 a 120 dds</p> <ul style="list-style-type: none"> Segundo aporque a los 91 días. 2 a 4 riegos antes de la cosecha. Tratamiento fitosanitario con insecticida (Espartaco) + fungicida (Cumulus). Fertilización foliar (extra follaje). Corte de follaje. Cosecha manual, selección y embolsado. 	<ul style="list-style-type: none"> No se recomienda fertilización foliar con uso de aguas residuales. Suprimir 2 riegos antes de la cosecha. Los tubérculos cosechados se dejarán sobre el surco o cama expuestos al sol por 2 horas para que se aireen y se sequen bien, lo que ayuda a terminar de suberizar la piel del tubérculo y facilita el desprendimiento de la tierra adherida. Se almacenará sólo papa sana, de ser posible usando cajas de madera de 28"x14"x12con capacidad aproximada de 45 kg o bien en sacos de henequén o fibra sintética. Se recomienda dejar estibas bajas. Las papas no se deben lavar, ni permitir que se mojen, porque esto causa pudrición inmediata. Los tubérculos cosechados se pueden mantener en ambientes cerrado o techado a una temperatura de entre 6 y 8 °C, en un ambiente oscuro y bien ventilado, con una humedad relativa elevada (del 85 % al 90 %).

ddt= Días después del trasplante. dds=Días después de la siembra. .*Su uso es durante todo el ciclo.

Fase del desarrollo	ZAPALLO	
	ACTUALMENTE SE HACE	SUGERENCIA
Preparación de terreno	<ul style="list-style-type: none"> • Riego para preparación de terreno: Aplicación de dosis moderada de riego (90 mm) por inundación. • Arado profundo (30 a 40 cm) con arado de disco y rastrado (mullido) con tractor. • Nivelación del terreno con yunta. • Aplicación de dosis alta de guano, durante la preparación del terreno o en su caso en el surco y luego voltear el suelo nuevamente antes de sembrar. • Conformación de surcos de 4 a 6 m o surcos mellizos de 8 a 10 m. 	<ul style="list-style-type: none"> • Se recomienda uso de prendas de protección, botas de hule, guantes y tapabocas*. • Abonado sólo con abonos verdes o con rastrojos de gramíneas, picados, incorporados durante la preparación del terreno. • Arado a una Profundidad máxima de 30 cm. • Uso de película plástica para solarizar el terreno previo a la siembra. • Uso de acolchados plásticos sobre los surcos; con orificios para la siembra de semilla de zapallo criollo. • Tutorear con líneas pareadas con hilo de polipropileno (rafia con tratamiento UV) sujeto de un extremo a la zona basal de la planta (puede ser liado, anudado o sujeto con anillas que no dañen el tallo) y de otro a una línea de alambre situada por encima de la planta (1.8-2.4 m sobre el suelo) para zapallo italiano. • Riego de pre-siembra con 70 mm conducidos por el fondo del surco, con cierre en el extremo final.
Periodo Inicial	<p>0 a 27 dds</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sembrado Manual 2 a 3 semillas por golpe a una distancia entre plantas de 5 m y entre surcos de 5 m. • Aplicación de abono orgánico durante la siembra. • 1 riego después de la plantación. • 1 a 3 riegos por semana dependiendo la humedad del suelo. • Aplicación de Nitrógeno al momento de la siembra (1/3). • Aplicación de Fosforo y Potasio a los 8 días (dds). 	<ul style="list-style-type: none"> • Riegos ligeros conducidos por el fondo del surco con cierre en el extremo final. • No aplicar fertilizantes que contengan nitrato de sodio o cloruro de potasio. • No se recomiendan abonos de animales frescos.

Fase de desarrollo	28 a 75 dds <ul style="list-style-type: none"> • Poda de las guías a 1.2 m (mejores rendimientos). • 7 a 14 riegos: 1- 2 riegos por semana, depende la humedad del suelo. • Aplicación de Nitrógeno a los 30 a 40 dds (1/3), luego a los 60 dds (1/3). • Aplicación foliar de Ca y Mg a los 45 dds • Aplicación de elementos menores a los 75 dds (Fe, Zn, Cu, Mn, Mo, B). • Carpida al mes de la plantación. • Herbicidas para malezas de hoja angosta, ancha (post-emergencia) y hojas anchas y gramíneas (pre-emergencia). • Insecticidas para el gusano del melón, gusano del fruto, chinilla, mosca blanca. • Fungicidas para el añublo lanoso y polvoriento y mal de almácigo. • Controles biológicos con <i>Polistes</i> sp., <i>Cycloneda sanguinea</i>, <i>Crysopa</i> spp., <i>Ceratomeglia maculata</i>, <i>Solenopsis germinata</i>, <i>Castolus tricolor</i> y <i>Zelus</i> spp. 	<ul style="list-style-type: none"> • Riegos ligeros conducidos por el fondo del surco con cierre en el extremo final. • No aplicar fertilizantes que contengan nitrato de sodio o cloruro de potasio. • No se recomienda fertilización foliar con el uso de las aguas residuales.
Fase de maduración	76 a 105 dds <ul style="list-style-type: none"> • 2 a 4 riegos: Uno a 2 riegos por semana antes de la cosecha. • Cosecha manual y embolsado. 	<ul style="list-style-type: none"> • No regar al menos de 1-2 días antes de la cosecha. • No colocar los zapallos cosechados sobre el suelo. • Eliminar zapallos dañados o rajados.

ddt= Días después del trasplante. dds=Días después de la siembra. .*Su uso es durante todo el ciclo.

Fase del desarrollo	HABA	
	ACTUALMENTE SE HACE	SUGERENCIA
Preparación de terreno	<ul style="list-style-type: none"> • Riego para preparación de terreno: Aplicación de altas dosis de riego (150 mm) por inundación en cajetas. • Arado profundo (25 a 35 cm) con arado de disco y rastrado (mullido) con tractor. • Nivelación del terreno con yunta. • Conformación de surcos a 40 - 50 cm y una profundidad de 5 a 10 cm. • Inoculación de la semilla con N2 Rhizobium. 	<ul style="list-style-type: none"> • Se recomienda uso de prendas de protección, botas de hule, guantes y tapabocas*. • Abonado sólo con abonos verdes o cascarilla de arroz o rastrojos de avena, trigo, cebada, maíz, oca, picados, incorporados durante la preparación del terreno. • Uso de película plástica para solarizar el terreno previo a la siembra. • Arado a máximo 30 cm. • Surcos anchos de 40cm x 30 de alto con una distancia entre surcos de 80 cm si las labores son manuales y de 1.50 si son mecanizadas. • Riego de pre-siembra (100 mm) conducidos por el fondo del surco, con cierre en el extremo final del surco.

Periodo Inicial	<p>0 a 33 dds</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sembrado Manual a una distancia entre hileras 40-50 cm y entre plantas 20 a 25 cm. • Aplicación de abono orgánico durante la siembra. • 1 riegos: Se aplica por surco, germinada la planta. • 2 a 3 riegos por surco después del primer riego dependiendo la humedad del suelo. • Primera carpida al mes. • Fertilizante foliar con multifer. 	<ul style="list-style-type: none"> • Uso de acolchados plásticos sobre los surcos; con orificios para la siembra de semilla de haba. • Colocación de la semilla sobre el lomo del surco. • Tutorear con líneas pareadas con hilo de polipropileno (rafia con tratamiento UV) sujeto de un extremo a la zona basal de la planta (puede ser liado, anudado o sujeto con anillas que no dañen el tallo) y de otro a una línea de alambre situada por encima de la planta (1.8-2.4 m sobre el suelo). • No aplicar fertilizantes que contengan nitrato de sodio o cloruro de potasio. • No se recomiendan abonos de animales frescos. • Se recomienda el riego en surcos alternos, con cierre en el extremo final del surco. • No se recomienda fertilización foliar con el uso de las aguas residuales.
Fase de desarrollo	<p>34 a 108 dds</p> <ul style="list-style-type: none"> • 7 a 10 riegos: Un riego por semana, dependiendo la humedad del suelo. • Segunda carpida a los 80 días. • Tratamiento fitosanitario con insecticida (Todoron y Bertimexo) para pulgones y mosca minadora + fungicida (Coraza y cumulus). • Fertilización foliar con extra follaje. • Aplicación de fertilizante de floración (vitafor). 	<ul style="list-style-type: none"> • Riegos ligeros conducidos por el fondo del surco con cierre en el extremo final del surco. • No se recomienda fertilización foliar con el uso de las aguas residuales.
Fase de maduración	<p>109 a 128 dds</p> <ul style="list-style-type: none"> • Segundo aporque a los 91 días. • 2 a 4 riegos: antes de la cosecha. • Tratamiento fitosanitario con insecticida (Bertimex) + fungicida (Priori). • Cosecha manual y embolsado (puede ser en verde o en seco, dependiendo las características de la zona o el mercado). • Se trilla cuando la vaina es seca, se selecciona y clasifica. 	<ul style="list-style-type: none"> • En cosechas en verde suspender el riego 3-5 días antes de la cosecha. • En cosechas de grano seco, suspender el riego 2 semanas antes.

ddt= Días después del trasplante. dds=Días después de la siembra. .*Su uso es durante todo el ciclo.

Fase del desarrollo	ALFALFA	
	ACTUALMENTE SE HACE	SUGERENCIA
Preparación de terreno	<ul style="list-style-type: none"> Riego para preparación de terreno: Aplicación de altas dosis de riego (150 mm) por inundación en cajetas. Arado profundo (50 cm) con arado de disco y rastrado (mullido) con tractor. Nivelación del terreno con yunta. Conformación de eras (platabandas) de 2 a 3 m de ancho por 25 a 50 m de largo. 	<ul style="list-style-type: none"> Se recomienda uso de prendas de protección, botas de hule, guantes y tapabocas*. Uso de película plástica para solarizar el terreno previo a la siembra. Siembra en melgas de 3m de ancho por 30 cm de altura y máximo 70 m de largo. Y distancia entre melgas de 80 cm si las labores son manuales o de 1.50 si son con maquinaria. Riego de pre-siembra (110 mm) conducidos por el fondo de la melga con cierre en el extremo final del surco.
Periodo Inicial	<p>0 a 15 dds</p> <ul style="list-style-type: none"> Siembra manual al voleo o con máquina. Aplicación de guano y urea durante la siembra. 1 riego: Se aplica por surco, germinada la planta. 	<ul style="list-style-type: none"> No se recomiendan abonos de animales frescos. Incorporación de residuos de papa, avena o cebada picados e incorporados 2 meses antes de la siembra. Riego conducidos por el fondo de la melga con cierre en el extremo final del surco.
Fase de desarrollo	<p>16 a 90 dds</p> <ul style="list-style-type: none"> 10 riegos: Un riego por semana. Primer aporque a los 50 a 60 días. Tratamiento fitosanitario con insecticida (Todoron y Espartaco) para pulgones y polilla + fungicida (Coraza). Fertilización foliar con multifer. 	<ul style="list-style-type: none"> Riegos ligeros conducidos por el fondo de la melga con cierre en el extremo final. No se recomienda fertilización foliar con el uso de las aguas residuales.
Fase de Maduración	<p>91 a 120 dds</p> <ul style="list-style-type: none"> Segundo aporque a los 91 días. 2 a 4 riegos: antes de la cosecha. Tratamiento fitosanitario con insecticida (Espartaco) + fungicida (Cumulus). Fertilización foliar (extra follaje). Corte de follaje. Cosecha manual, selección y embolsado. 	<ul style="list-style-type: none"> No se recomienda fertilización foliar con el uso de las aguas residuales. Suprimir el riego 2 semanas antes de la cosecha o cortes. No se recomienda pastoreo directo. Ensilar o henificar. Si se almacena, preferentemente bajo techo, sobre tarimas de madera, si son pacas la altura máxima será de 2 m. Si son parvas 1 m de altura.

ddt= Días después del trasplante. dds=Días después de la siembra. .*Su uso es durante todo el ciclo

Fase del desarrollo	MAIZ FORRAJERO	
	ACTUALMENTE SE HACE	SUGERENCIA
Preparación de terreno	<ul style="list-style-type: none"> Riego para preparación de terreno: Aplicación de altas dosis de riego (200 mm) por inundación. Arado profundo (30 a 40 cm) con arado de disco y rastrado (mullido) con tractor. Nivelación y surcado del terreno con yunta. Conformación de surcos a 70 - 80 cm, distancia entre plantas 20 cm. 	<ul style="list-style-type: none"> Se recomienda uso de prendas de protección, botas de hule, guantes y tapabocas*. Uso de película plástica para solarizar el terreno previo al trasplante. Surcos anchos de 40 cm por 30 cm de profundidad. Con una distancia de 80 cm entre surcos, si las labores son manuales y de 1.50m si son mecanizadas. Sembrando la semilla al centro, la distancia entre plantas de 30 cm. Riego de pre-siembra con 100 mm por gravedad conducido por el fondo de surcos o melgas con cierre en el extremo final del surco.
Periodo Inicial	<p>0 a 15 dds</p> <ul style="list-style-type: none"> Sembrado manual a una distancia entre hileras 70 - 80 cm y entre plantas 20 cm. Aplicación de 1 a 3 semillas por golpe. 30 a 35 kg/ha. Aplicación de guano durante la siembra. Primer riego: Se aplica por surco después de germinada la planta. Abonado de cobertura cuando aparecen las primeras hojas con: <ul style="list-style-type: none"> Nitrato amónico de calcio: 500 kg/ha Urea: 295 Kg/ha Solución nitrogenada: 525 kg/ha En algunos casos se aplica herbicidas como: Triazinas, Simazina, Dicamba, Cloroacetaminas, Paraquat, Tiocarbomatos y Metolacloro. 	<ul style="list-style-type: none"> El abonado se sugiere sea con abonos verdes picados e incorporados 2 meses antes de la siembra. No se recomiendan abonos de animales frescos No aplicar fertilizantes que contengan nitrato de sodio o cloruro de potasio. Riegos ligeros conducidos por el fondo del surco con cierre en el extremo final del surco.
Fase de desarrollo	<p>16 a 60 dds</p> <ul style="list-style-type: none"> 4 a 6 riegos: Un riego por semana. Primer aporque a los 50 a 60 días más camellonado con yunta. Tratamiento fitosanitario con insecticida (Todoron y Espartaco) para pulgones y polilla + fungicida (Coraza) Fertilización con: <ul style="list-style-type: none"> N: 82% (abono nitrogenado) P2O5: 70 % (abono fosfatado) K2O: 92 % (abono en potasa) Aplicación de boro para las mazorcas. Tratamientos con insecticidas para: <ul style="list-style-type: none"> Gusano de alambre Gusanos grises Enfermedades: <ul style="list-style-type: none"> Bacteriosos (ataca a los tallos jóvenes) 	<ul style="list-style-type: none"> Riegos ligeros conducidos por el fondo del surco con cierre en el extremo final. No aplicar fertilizantes que contengan nitrato de sodio o cloruro de potasio.

<p>Fase de Maduración</p>	<p>61 a 120 dds</p> <ul style="list-style-type: none"> • Segundo aporque a los 91 días. • 6 a 8 riegos: Un riego por semana. • Tratamientos con insecticidas para: <ul style="list-style-type: none"> › Pulgones › Taladro del maíz › Ácaros • Enfermedades: <ul style="list-style-type: none"> › Antracnosis, Roya, Carbón del maíz › Cosecha manual de las mazorcas. › Corte de follaje manual o con máquina. › Ensilaje (silo), con el fin de lograr fermentaciones anaerobias. Se puede ensilar en diferentes tipos de silos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Riegos ligeros conducidos por el fondo del surco con cierre en la el extremo final del surco. • No se recomienda fertilización foliar con uso de aguas residuales. • Suprimir el riego 2 semanas antes de la cosecha. • No se recomienda pastoreo directo. • Ensilar o henificar. • Si se almacena, preferentemente bajo techo, sobre tarimas de madera, si son pacas la altura máxima será de 2 m. Si son parvas 1 m de altura.
---------------------------	---	---

ddt= Días después del trasplante. dds=Días después de la siembra. .*Su uso es durante todo el ciclo



▲ Alfalfa



▲ Maíz forrajero



▲ Trigo

Fase del desarrollo	PASTO LOLIUM (RYE GRASS)	
	ACTUALMENTE SE HACE	SUGERENCIA
Preparación de terreno	<ul style="list-style-type: none"> Riego para la preparación del terreno: Aplicación de altas dosis de riego (150 mm por inundación). Arado profundo (25 a 35 cm) con arado de disco y rastrado (mullido) con tractor. Nivelación del terreno. 	<ul style="list-style-type: none"> Se recomienda uso de prendas de protección, botas de hule, guantes y tapabocas*. Uso de película plástica para solarizar el terreno previo al trasplante. Siembra en melgas de 3m de ancho por 30 cm de altura y máximo 70 m de largo. Y distancia entre melgas de 80 cm si las labores son manuales o de 1.50 si son con maquinaria. Riego de pre-siembra (110 mm) conducidos por el fondo de la melga con cierre en el extremo final. Riego de pre-siembra con 100 mm por gravedad conducido por el fondo la melgas, con cierre en el extremo final.
Periodo Inicial	<p>0 a 30 dds</p> <ul style="list-style-type: none"> Sembrado manual o con maquinaria Germinación a los 10 días Riego después de la germinación 7 a 8 riegos. 	<ul style="list-style-type: none"> Sembrar en asociación con Dactylis y trébol rojo o blanco. No se recomiendan abonos de animales frescos. No aplicar fertilizantes que contengan nitrato de sodio o cloruro de potasio. Riegos ligeros conducidos por el fondo de la melga con cierre en el extremo final.
Fase de desarrollo	<p>31 a 95 dds</p> <ul style="list-style-type: none"> 4 a 6 riegos: Un riego por semana. Control mecánico de insecticidas y funguicida. 	<ul style="list-style-type: none"> Riegos ligeros conducidos por el fondo de la melga con cierre en el extremo final.
Fase de maduración	<p>96 a 365 dds</p> <ul style="list-style-type: none"> 20 a 30 riegos: Un riego por semana aproximadamente. Cosecha con máquina. Pesar los forrajes. 	<ul style="list-style-type: none"> Riegos ligeros conducidos por el fondo de la melga con cierre en el extremo final. Suprimir el riego 2 semanas antes de la cosecha. No se recomienda pastoreo directo. Ensilar o henificar. Si se almacena, preferentemente que sea bajo techo, sobre tarimas de madera, si son pacas la altura máxima será de 2 m. Si son parvas 1 m de altura.

dds= Días después del trasplante. dds=Días después de la siembra. .*Su uso es durante todo el ciclo

Todas las sugerencias vertidas en este apartado son complemento del paquete tecnológico ya existente, referente al manejo de cada cultivo en Bolivia, y tienen por objeto hacer recomendaciones de mejora o adaptación a lo que actualmente se hace, a fin de reducir riesgos por el aprovechamiento de las aguas residuales en el riego agrícola.

En los cultivos de hortalizas se sugiere, de ser posible, cambiar el actual sistema de riego por gravedad por riego por goteo o microaspersión.

3.3 Recomendaciones para abordar el tema de los riesgos en zonas con reúso

Las estrategias para abordar el problema de riesgos de salud en las zonas de reúso (Tabla 14), es un asunto que no sólo compete a una institución, sino que es un tema donde deben conjuntarse los esfuerzos técnicos y los presupuestos de varias instituciones involucradas, tanto para la planeación, diseño y ejecución de acciones, que permitan concientizar a la población expuesta, así como que fomenten la adopción de tecnologías, con el objetivo que aprovechen las aguas residuales reduciendo los riesgos potenciales que implica su reúso.

Tabla 14. Estrategias generales para enfrentar el problema de riesgos en zonas con reúso

Estrategia	Zona de reúso con producción de cultivos que se consumen crudos	Zona de reúso con producción de cultivos que se consumen cocidos.	Zona de reúso con producción de cultivos para la industria
Divulgación de Riesgos	En coordinación con el sector Salud, a través de talleres, y campañas, donde participen trabajadores agrícolas y población local asentada en la periferia.		
Implementación de prácticas de manejo	Fomento y capacitación para la adopción de prácticas que reduzcan el contacto del producto o fruto con el agua de riego.	Fomento y capacitación para la adopción de prácticas post-cosecha que mejoren la calidad sanitaria de productos antes de su comercialización.	Fomento y capacitación para la adopción de prácticas que mejoren la calidad sanitaria del cultivo, previo a su cosecha.
<i>La implementación de prácticas se deberá hacer en coordinación con la entidad encargada de realizar la investigación agrícola, a través de talleres donde participen usuarios del riego con aguas residuales a través de sus organizaciones.</i>			

Fuente: Elaboración propia

3.3.1 Recomendaciones para enfrentar los riesgos en zonas de reúso que producen cultivos que se comen crudos

Una de las técnicas de uso seguro de aguas residuales en riego agrícola que mejores resultados ha dado en la mayoría de los países que han avanzado en el aprovechamiento de las aguas residuales es la restricción de cultivos en zonas de reúso, sobre todo en relación a los cultivos que se consumen crudos (como son las lechugas, el perejil, las zanahorias, el apio, la achicoria, los rábanos, los repollos, el cilantro, las espinacas, las fresas, etc.). Sin embargo, conscientes que existen áreas, en países en desarrollo, que aún siembran hortalizas regadas con aguas residuales, se recomienda enfrentar el problema en dos vertientes:

- Divulgación de riesgos entre la población expuesta en la localidad, aportando conocimiento sobre los riesgos de salud, asociados al reúso de las aguas residuales.
- Implementación de prácticas de manejo del cultivo (que reduzcan el contacto de los productos con el agua de riego).



▲ Cultivos regados con aguas residuales

- a. **La Divulgación de riesgos** es un aspecto que necesariamente deberá ser abordado en coordinación con el sector salud, generando pequeños talleres de información o campañas sanitarias entre la población a diferentes niveles: Trabajadores agrícolas y sus familias, consumidores de productos locales, sociedad en general que viva en la periferia de zonas con aprovechamiento de aguas residuales, abordando temas como el uso de prendas de protección, la desparasitación, la vacunación, la higiene personal, el manejo de alimentos, etc.
- b. **Implementación de prácticas de manejo del cultivo.** El tema deberá ser abordado en coordinación con la entidad encargada de la investigación agrícola o de centros agrícolas experimentales, a través de pequeños talleres de capacitación que combinen la teoría y la práctica. Con el fin de fomentar entre las organizaciones de usuarios (productores), la adopción de prácticas que reduzcan el contacto de los cultivos o de sus frutos con el agua de riego, y para mejorar la calidad sanitaria de los productos previos a la comercialización. Entre las prácticas que más se recomiendan para evitar el contacto del agua de riego con el producto o fruto están el uso de acolchados plásticos, el uso de material tutorial para el envarado de cultivos (estacas de madera con líneas de alambre, hilo u otro material que permita que el cultivo se desarrolle verticalmente, evitando con ello el contacto de los frutos con el agua de riego), la aplicación localizada del riego (goteo), etc. La supresión del último riego antes de la cosecha y el manejo post-cosecha del cultivo. Como ejemplo se puede mencionar el lavado con agua limpia, desinfección (existen algunas alternativas al uso de cloro, tales como el peróxido de hidrógeno, ozono y fosfato trisódico).

Además, en ciertos cultivos como lechugas, coles o cebollas, quitar de 3 a 4 capas externas, antes de enviar el producto al mercado mejora notablemente su calidad sanitaria. Adicionalmente, se recomienda tocar el tema de manejo de cosechas (recolección segura), que buscará establecer acciones que eviten que los frutos, una vez cosechados, se puedan contaminar al ser puestos en el suelo para apilarlos o juntarlos, antes de enviar a su comercialización.

3.3.2 Recomendaciones para enfrentar los riesgos en zonas de reúso que producen cultivos que se consumen cocidos

Para las zonas con reúso de aguas residuales para riego agrícola aún donde se siembren cultivos que requieran cocimiento previo a su consumo como pueden ser frijoles, chayotes, papas, habas, camotes, etc. También el tema se deberá abordar en dos vertientes:

- ▶ Divulgación de riesgos entre la población expuesta (regadores y jornaleros que participen del manejo del cultivo, incluyendo la cosecha).
- ▶ Implementación de prácticas de manejo del cultivo (que mejoren la calidad sanitaria del producto previo a la comercialización).

La divulgación de riesgos entre la población expuesta también se apegará a la estrategia detallada con anterioridad, así como la implementación de prácticas de manejo del cultivo también se apegará a lo establecido con anterioridad en el apartado 3.3.1. En este caso, la única diferencia será el fomento y divulgación de prácticas que mejoren la calidad sanitaria de los productos post cosecha, es decir antes de enviar a comercializarlos.

Entre las prácticas que más se recomiendan están: La solarización de cosechas. Esta es una técnica sencilla y de bajo costo. Consiste en la exposición de la cosecha a los rayos del sol, para que los patógenos presentes en la superficie de éste mueran por desecación. Ejemplo de esto es el curado de la cebolla. Una vez sacada o despegada del suelo, pasa sobre el propio banco de siembra, un tiempo, que dependiendo de la zona y de las condiciones climatológicas, puede variar desde 2 a 3 días hasta 14 días. Otro ejemplo es el curado de las papas, ya que una vez sacadas de la tierra se dejan sobre el terreno en promedio 2 horas para que se seque el exterior y se caiga la tierra que se haya adherido. Posteriormente, se apilan hasta alcanzar 2 metros de altura y se protegen con lona o manta de yute, generando un termoclima interno que ayuda a matar los patógenos presentes. En el sitio pueden permanecer de 15 a 20 días antes de su envío al mercado, lo que entre otras cosas, logra mejorar la calidad sanitaria del producto.



▲ Cultivo de cebolla

Otra práctica de mejoramiento de la calidad sanitaria de los productos cosechados es el enjuague con agua limpia, cuyo procedimiento puede ser realizado en forma manual o mecanizada, donde en el sitio de lavado (comúnmente llamado alberca de lavado), el agua de enjuague puede ser mezclada con compuestos en base a yodo. Ejemplo de ello es el lavado de zanahorias, donde se terminan de retirar los residuos de tierra, mejorando su calidad sanitaria.

3.3.3 Recomendaciones para enfrentar los riesgos en zonas de reúso que producen cultivos para industrializar antes de su consumo

En las zonas con reúso de aguas residuales tratadas para riego agrícola aún donde se siembren cultivos que requieran pasar por un proceso de industrialización previo a su consumo (cártamo, girasol, trigo, caña de azúcar, algodón, etc.), también el tema se deberá abordar en las 2 vertientes mencionadas:

- ▶ Divulgación de riesgos entre la población expuesta (regadores y recolectores agrícolas).
- ▶ Implementación de prácticas de manejo del cultivo (que mejoren la calidad sanitaria del producto, previo a la cosecha).

La divulgación de riesgos entre la población expuesta también se apegará a la estrategia detallada con anterioridad. Y la implementación de prácticas de manejo del cultivo también se apegará a lo establecido. En este caso, la única diferencia será el fomento y divulgación de prácticas que mejoren la calidad sanitaria de los productos antes de la cosecha, con el objetivo de reducir los riesgos de salud entre los trabajadores agrícolas que participen de las labores de cosecha de los productos. Entre las prácticas que más se recomiendan están la aplicación del riego de baja presión (microaspersión o goteo para cultivos como: frutales, leguminosas o plantas arbustivas). La supresión del último riego antes de la cosecha en cultivos regados por gravedad o riego presurizado de alta presión para cultivos de porte alto o de porte medio, como ejemplos se pueden mencionar al maíz para grano, la caña de azúcar, el arroz, el trigo, etc.

Con la primera práctica que corresponde a la aplicación del riego de baja presión, se logra controlar la humedad en los primeros centímetros del perfil del suelo y en la zona de desarrollo de la raíz, y también los frutos no entran en contacto con el agua de riego, por lo que se reduce el riesgo de problemas de salud entre los trabajadores agrícolas durante el proceso de recolección de frutos, entre cortes o de la cosecha total del cultivo.



▲ Cultivo de zanahorias

Con la segunda práctica recomendada que corresponde a la supresión del último riego, se logra reducir la población de patógenos que puedan estar presentes en el suelo o en partes del cultivo que hayan entrado en contacto con el agua, ya que estos patógenos empiezan a morir por falta de humedad. Dado que se recomienda que el período entre el último riego y la cosecha sea de entre 7 a 15 días (dependiendo de las condiciones locales de clima y suelo), con éstas dos acciones se reducen significativamente los riesgos de salud entre los trabajadores agrícolas durante la cosecha y también se mejora la calidad sanitaria de los productos previos a su comercialización.

3.4 Técnicas de manejo del cultivo que evitan el contacto del producto con el agua de riego

Existen técnicas que evitan el contacto entre el agua de riego y el producto de interés, que son recomendadas para zonas de aprovechamiento de aguas residuales. Entre ellas se encuentran:

3.4.1 Siembra en surcos anchos

Mediante esta técnica se busca que los cultivos (recomendada para cultivos de porte alto como maíz, trigo, sorgo y caña, etc., y en cultivos de porte medio como soya, cártamo y algodón, entre otros), se siembra sobre el lomo del surco formando una sola hilera para que las plantas crezcan en forma vertical, y para que el agua de riego, aplicada por gravedad, fluya en el fondo del surco, ya que se requiere que por capilaridad llegue a las raíces de las plantas.

Los surcos se forman en la última fase de preparación del terreno para la colocación de las semillas en seco o el trasplante de plántulas en húmedo. Los surcos tendrán un ancho de 30 a 40cm de altura, en tanto que el largo dependerá del tamaño del terreno, aunque lo recomendado es que no sobrepasen de 250 a 300 m



▲ Jornaleros recolectando las mazorcas de maíz.



▲ Sembrados en surcos anchos

de largo. Es muy importante que cuando se formen los surcos, éstos se cierren (donde terminan), con el fin de evitar que el agua residual usada en el riego no contamine otras parcelas o cause daños contaminando cauces de agua cercanos.

Se recomienda que a esta forma de siembra se adicionan técnicas de manejo del cultivo, que pueden ser el uso de entutorado, sólo cuando se siembren hortalizas de vaina como ejotes, chícharos o habas, o bien cuando se siembren hortalizas como la calabacita, la berenjena, el pepino, el tomate de cáscara, chiles y chayotes, entre otros. Asimismo, se use el acolchado plástico cuando se siembren: melón, sandía, col o repollo (blanca o morada), coles de bruselas, coliflor, brócoli, entre otros. Los acolchados plásticos forman una barrera que evita que el producto de interés se mantenga sin contacto con el agua de riego; también, ayudan en el control de las malezas, se mejora la eficiencia del riego, se mantiene por más tiempo la humedad del suelo, y por supuesto, se obtiene una mejor calidad sanitaria de las cosechas.

3.4.2 Siembra en camas altas

Mediante esta técnica se busca que los cultivos (se recomienda para hortalizas como ajo, cebolla, zanahoria, betarraga, etc., y cultivos de porte bajo como cacahuate, algodón, cártamo y garbanzo) que se desarrollarán a una o doble hilera, lo hagan en el centro o en el borde de las camas, así se cubre la parte plana de la cama y el agua de riego que se aplique en el fondo entre cama y cama, penetre de forma vertical y lateral, subiendo por capilaridad hacia la zona de raíces de la planta. Con esta técnica, en zonas con aprovechamiento de aguas residuales tratadas, se reduce el riesgo de contaminación del cultivo por el contacto con el agua de riego.

Las camas altas de siembras, generalmente, se forman en la última fase de preparación del terreno para la colocación de las semillas en seco o el trasplante de plántulas en húmedo. Las camas tendrán un ancho variable, dependiendo del cultivo a establecer, pero en general se forman con un ancho que se encuentra de 1.0 m a 2.00 y 0.40 m de altura. En tanto que el largo dependerá del tamaño del terreno y/o del sistema de riego utilizado, aunque lo recomendado es que no sobrepasen de 250 a 300m de largo.

Para la formación de las camas con maquinaria, se utiliza una cultivadora o un rotocultor con cuchillas. El formador de camas tiene paneles planos de metal que frotran contra la parte superior y los lados de las camas, labrando la superficie del suelo lo suficiente para alterar la germinación de malas hierbas. Con algunas máquinas agrícolas, el suelo se levanta y forma la cama en una sola operación, en otras primero se levanta el suelo con discos o discos dobles, y en otra operación se comprime el suelo a una altura uniforme utilizando una alomadora.

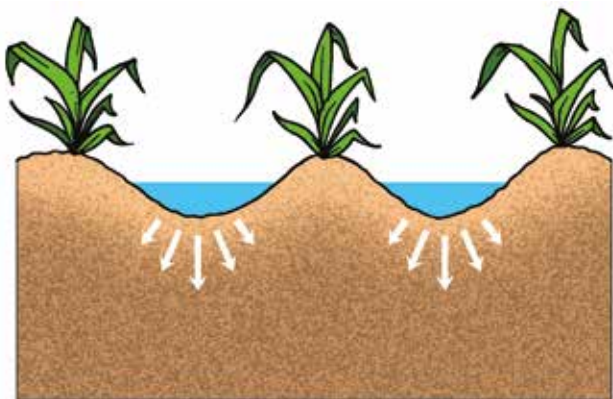
También se recomienda que a esta forma de siembra se adicionen técnicas de manejo del cultivo que pueden ser el uso de entutorado y/o el acolchado plástico, con lo que se puede aprovechar mejor el espacio productivo, se controlan mejor las malezas, se mejora la eficiencia del riego, y por supuesto, se obtiene mejor calidad sanitaria de los cultivos sembrados en éstas zonas de reúso.



▲ Sembrados de cebolla

3.4.3 Colocación y ubicación de la semilla

En zonas con reúso de aguas tratadas, en caso de haber formado surcos, lo recomendable es colocar la semilla en seco sobre el lomo o cresta del surco, y para el caso de siembra en camas meloneras, lo recomendable es colocar 1 ó 2 hileras de semillas en seco a los bordes de la cama, o al centro, de tal manera que en ambos casos, una vez aplicados los riegos, avancen sobre el fondo de los surcos o camas, permitiendo la infiltración del agua de manera vertical y lateral en el perímetro de mojado, moviéndose ésta por capilaridad hacia las raíces del cultivo. De esta forma se busca el mínimo contacto entre el agua, el follaje y los frutos o productos obtenidos.



▲ Forma en que se mueve el agua en el surco y en la cama melonera

Para el establecimiento de cultivos sembrados en surcos (como maíz, avena, cebada, frijol etc.), lo común es sembrar sobre el lomo las semillas a una distancia que en general va de los 15 a 30 cm entre plantas, según el cultivo, con el objetivo de formar un campo de cultivo en hileras. Y para el caso de siembras en camas, las semillas se pueden colocar en los extremos de los bordes, a fin de formar un cultivo a doble hilera, para que el cultivo desarrolle su follaje y frutos hacia el centro de la cama. O bien colocar la semilla al centro, formando una sola hilera, para que el cultivo se desarrolle hacia un lado y otro, ocupando todo el ancho de la propia cama, e igualmente con este método de siembra, se evita el contacto entre el agua de riego y los frutos obtenidos.



▲ Siembra de tomate rojo a una hilera

3.4.4 Uso de acolchados plásticos

Para aplicar esta técnica en agricultura de riego se utilizan películas plásticas de Polietileno de Baja Densidad Lineal (PEBDL), Polietileno de Baja Densidad (PEBD), Copolímero de Acetato de Vinilo (EVA) y Policloruro de Vinilo (PVC) cuyas características y usos se detallan en la tabla 15. El material más utilizado actualmente es el PEBDL, que representa menor cantidad por unidad de superficie (kg/m^2) y menor costo. El uso de los acolchados se recomienda preferentemente para cultivos de melones, frutilla, sandía, espárrago, inclusive se usa en cultivo de algodón. Los objetivos de aplicar esta técnica son dos: mejora el aprovechamiento de la humedad en el suelo y reduce el contacto entre el fruto y el agua de riego.

Tabla 15. Características de los acolchados plásticos y sus usos

Cultivo	Espesor de la película	Vida útil	Cantidad requerida (kg/ha)
Melón, sandía, algodón	25-40 μm	<1 año	100-120
Fresa o frutilla	30-50 μm	<1 año	135-140
Espárrago	>50 μm	1 a 3 años	350

El ancho de las películas van de los 0.75 a 1.50 m, medida que se debe considerar en la preparación de los surcos o camas de siembra.

El precio de las películas plásticas es de alrededor de 1.3 Euros/kg

Fuente: Elaborado con datos de OMM/Premia. 2006.



▲ Cultivo de frutilla con acolchado

La técnica del acolchado puede ser utilizada para el cubrimiento total o parcial del campo. En la mayoría de los casos, donde el riego se realiza aprovechando aguas residuales, el cubrimiento del terreno es parcial, es decir, sólo se cubre el surco, camellón o cama de cultivo. La película plástica se sujeta al terreno enterrando sus bordes 10 cm. en el suelo. Es importante considerar los 20 cm más en el largo de la película que se corta para cubrir todo el surco o la cama de siembra.

Lo recomendable para zonas con reúso de aguas es que la siembra o trasplante de plántulas se realice una vez que se tiene el terreno acolchado, de esta forma sólo se requiere hacer unas pequeñas perforaciones al centro del surco o cama de siembra para colocar la semillas, de manera que el cultivo se desarrolle sin contacto directo con el agua de riego que se aplicará al fondo del surco.

Es importante resaltar que la técnica del acolchado plástico sólo se recomienda en suelos con buen drenaje, de lo contrario la alta humedad del suelo que se mantendrá por debajo de la tela plástica y provocará asfixia radicular o pudriciones en la parte inicial del tallo de la planta. También es fundamental mencionar que los acolchados plásticos solo son recomendables cuando el agua residual utilizada en el riego agrícola se aplica mediante sistemas de gravedad o con sistema de riego por goteo.

Existe también una técnica llamada acolchado para solarización, donde se utilizan películas de polietileno monocapa tipo térmico o multicapa y Copolímero de Acetato de Vinilo (EVA). Estas películas plásticas ayudan a controlar los patógenos que existan en el suelo o que hayan ingresado por el agua de riego. Consiste en colocar plástico transparente sobre el suelo húmedo (recientemente regado), donde el efecto termoaislante del material plástico utilizado que se recomienda sea de 40-50 μm . El tiempo que debe actuar dependerá de la temperatura que se considera letal para cada patógeno y la profundidad que se desea alcanzar, sin embargo, esta técnica se utiliza para controlar bacterias pero no es útil en el control de nematodos, ya que se movilizan a capas más profundas cuando la temperatura del suelo se incrementa en la superficie. Esta técnica se ha utilizado preferentemente para desinfectar suelos previos al trasplante o la siembra, es decir, la película plástica es utilizada sólo un mes, ya que es el tiempo necesario para realizar una buena desinfección previa al establecimiento del cultivo.

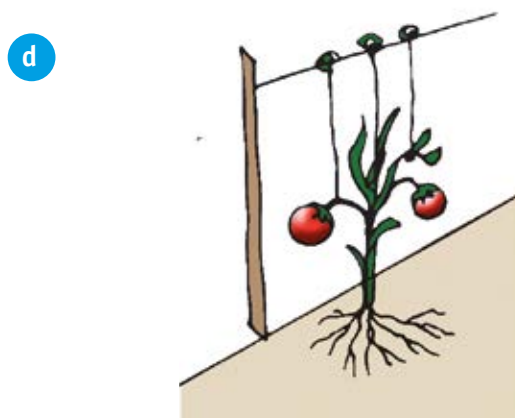
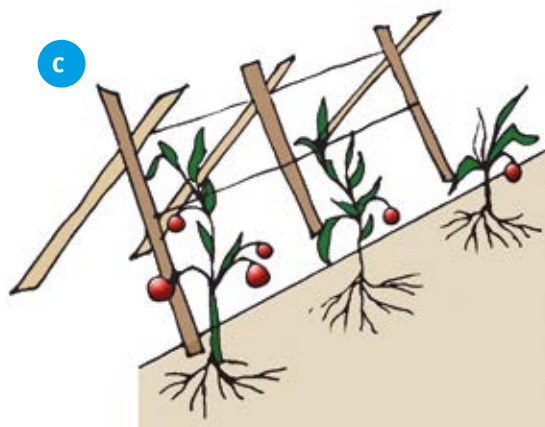
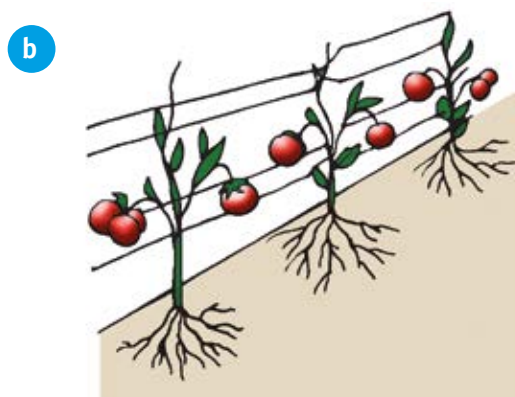
3.4.5 Entutorado o envarado

La técnica del entutorado es muy útil cuando se aprovecha el agua residual para el riego agrícola, ya que con ello se evita el contacto entre el agua de riego y el producto o fruto de interés, de forma que se obtienen cosechas de buena calidad sanitaria.

El entutorado consiste en guiar verticalmente, a través de un amarre del tallo principal de la planta con ayuda de un "tutor", que suele ser en cultivos a cielo abierto: una vara, estaca o caña, unidas o no, según el tipo de estructura con hilo o cuerda, y en el caso de los invernaderos. La estructura más utilizada para entutorar es una malla sostenida por estructuras fijas o desmontables. Existen distintos tipos de entutorado, pero en todas se busca que guíen el desarrollo de la planta sirviéndoles como sostén.

Las estructuras típicas de entutorado de cultivos agrícolas son:

- a. **El amarre simple** que guía el tallo de una planta a una estaca o caña. Se utiliza en cultivos como tomate rojo, tomate verde, chiles, berenjenas, etc.
- b. **El encajonado** que une las estacas, varas o cañas con hilo o alambre para dar mayor estabilidad. Se usa en cultivos de uva, chayote, calabacitas, pepinos, etc.
- c. **La estructura de tijera o tienda de indios**, donde las varas o cañas se unen en forma de V invertida. Aquí la planta se fija con hilo o cuerda no abrasiva para guiar su desarrollo vertical. Se usa mucho en cultivos de ejote, tomates, calabacitas, moras, zarzamoras, etc.
- d. **El colgado** que fija estructuras verticales en el inicio de la cabecera del surco o melga y en el extremo donde terminan, ambas unidas por otra estructura horizontal de donde se cuelgan hilos o cuerdas que sostienen el tallo principal de las plantas para guiar su desarrollo. Se usa mucho en cultivos de invernadero para producir tomates, pepinos, pimientos, fresas o frutillas, etc.



En la actualidad, también se comercializan materiales como mallas que sirven para entutorar plantas que se cultivan en invernadero. Estas son reciclables, es decir, sirven para más de un ciclo agrícola, sin embargo, tienen el inconveniente de ser costosas.

3.5 Técnicas de manejo del agua que mejoran la calidad sanitaria de productos durante su desarrollo y antes de su cosecha

Es muy importante mencionar que existen técnicas que mejoran la calidad sanitaria de los cultivos regados con aguas residuales antes de su cosecha y comercialización, como las siguientes:

3.5.1 Riego alterno

El cambio climático y sus efectos ha generado que cada vez más se reúsen aguas residuales tratadas para el riego agrícola, y que derivado de las características del agua se prueben técnicas de distribución del agua a nivel parcelario que reduzcan los riesgos de contaminación de los productos obtenidos.

La técnica de riego alterno surgió como una necesidad a las formas de conservación del agua en riego por gravedad y como alternativa para afrontar los periodos de escasez de agua e incrementar la eficiencia de uso.

Cuando las plantas son pequeñas sus requerimientos de riego son bajos, por lo que el riego alterno es ideal, y se adapta bien a suelos francos y arcillosos.

El riego por surco alterno básicamente consiste en un cambio en la manera tradicional de operar el riego por gravedad donde se aplica el agua de riego con surco de por medio. Además, esta técnica bien manejada no tiene efectos en la reducción de rendimientos.

En general, en el riego por surcos alternos, en condiciones normales de disponibilidad hídrica, el agua se aplica dejando un surco sin regar durante el primer auxilio; en el segundo, el agua se aplica en el surco no regado; en el tercer auxilio, que coincide con la floración o jiloteo, se riegan todos los surcos; y en el cuarto auxilio, se continúa la alternancia como al inicio.



▲ Riego en surco alterno

El riego en surcos alternos no es recomendable en terrenos con pendientes fuertes, debido a la reducida superficie de mojado que genera baja infiltración en el suelo. Tampoco se recomienda en suelos con baja permeabilidad, al requerir mayores tiempos de riego para tener un buen mojado lateral de los surcos.

En zonas con aprovechamiento de aguas residuales para riego agrícola, se ha usado el riego en surco alterno, básicamente para utilizar el suelo como medio filtrante de los contaminantes presentes en el agua residual, y para aprovechar eficientemente los pocos volúmenes tratados, lo que aunado a una restricción de cultivos, y a la forma de colocación de la semilla en el lomo del surco, ha ayudado a reducir el contacto entre los frutos de la planta y el agua de riego. En su conjunto constituye una técnica de manejo seguro de aguas tratadas en riego agrícola.

3.5.2 Supresión del último riego antes de la cosecha

La combinación de técnicas y prácticas de manejo del agua son muy importantes cuando se establecen proyectos de reúso de aguas tratadas, en función del tiempo de supervivencia de algunos patógenos tanto en suelos, cultivos y agua. En la tabla 16 se hace un concentrado de información de la supervivencia de distintos patógenos proveniente de diversos autores.

Tabla 16. Tiempo (días) de supervivencia de patógenos en suelo, agua y cultivos

Patógeno	Suelos		Cultivo		Agua	
	Máximo	Común	Máximo	Común	Máximo	Común
Bacterias	365	20-70	180	2-30	60	10-30
Virus	180	20-100	60	15-60	120	50
Protozoarios ¹⁾	20	2-10		1-5	153	15-30
Helminetos ²⁾	7 años	2 años		30	Varios meses	Varios meses

1) Quistes

2) Huevos o cigotos

Fuente: Orta 1985, Shuval, *et al*, 1986 y D'itri, *et al* 1981

Dado que en muchos estudios se ha demostrado que la humedad del suelo (donde se han aplicado aguas residuales para el riego) está relacionada con la población de patógenos, es fundamental considerar prácticas que permitan disminuir la humedad del suelo previo a las acciones de la cosecha. Esto se logra suprimiendo el riego cuando menos dos semanas antes de la cosecha, ya que con esta práctica los patógenos presentes, tanto en la capa superficial del suelo como en las partes de las plantas más próximas al suelo, presentan muerte por desecación, donde además la exposición al sol y al viento juegan un papel importante en el mejoramiento de la calidad sanitaria de los cultivos obtenidos de zonas con riego de aguas residuales. Esta sencilla práctica de manejo del agua y de manejo de los tiempos previo a la cosecha, representan buenas medidas de prevención de enfermedades, tanto para los jornaleros agrícolas como para los consumidores de los productos agrícolas provenientes de esas zonas.

Sin embargo, esta práctica de supresión del último riego dos semanas antes de la cosecha, se adapta sólo a cultivos de porte alto como la caña de azúcar, y a cultivos de granos (que se comercialicen en seco) que

hayan completado el llenado de las mazorcas, espigas o vainas, como ejemplo se pueden mencionar al maíz, arroz, trigo, sorgo, etc.

En las hortalizas, cuyas características agronómicas no les permiten resistir tanto sin agua, una práctica que se ha observado entre los agricultores es el cambio de fuente de agua de riego, es decir, producen con agua residual y dos semanas antes de la cosecha, suprimen el riego con aguas residuales, e implementan riegos con agua de pozo. Empero, hace falta hacer estudios para constatar que con esta práctica se mejora la calidad sanitaria de las hortalizas antes de comercializarlas.

3.6 Selección del método de riego para el aprovechamiento de aguas residuales

En la selección del método de riego se conjugan una serie de factores que conviene considerar. Estos son el aspecto económico, referente al precio del agua (cuota por servicio de riego o costo del bombeo), hasta la exigencia en tecnología, referente a los requerimientos del sistema para la distribución del agua a nivel parcelario. En este sentido, Pereira y Trout 1999 hicieron una matriz que considera 13 factores que puede ser de utilidad para apoyar la decisión de los planeadores o de los propios productores a la hora de seleccionar un método de riego (Tabla 17). También, Lazarova y Bahri (2005, 2008) desarrollaron una matriz que relaciona el método de riego con ciertos factores y medidas especiales, con el objetivo de facilitar la selección del método de riego (Tabla 18).

Es necesario recordar que la calidad del agua también juega un rol muy importante en la selección del método de riego. Por ejemplo, el riego por aspersión con agua residual que contiene relativamente altas concentraciones de sodio o iones de cloruro, puede causar daño foliar a cultivos sensibles, especialmente donde las condiciones climáticas favorecen la evaporación (zonas donde se presentan altas temperaturas y baja humedad). Un daño similar a los cultivos se presentará cuando el agua residual con altos niveles de cloro residual (>5 mg/l) sea asperjado directamente sobre las hojas de los cultivos (OMS, 2006).

Asimismo, el riego por aspersión con aguas residuales que contiene sales en concentraciones importantes, aumentará los problemas de infiltración en el suelo, debido a la alta probabilidad de formación de costras superficiales. Mientras que los sistemas de riego por goteo y superficiales producirán menos alteración física en los suelos.

Otra consideración no menos importante antes de seleccionar el método de riego, será determinar si existe la tecnología disponible en el país, y los materiales e insumos del sistema de riego que sea de nuestro interés, ya que esto tiene influencia en los costos del sistema, y por tanto, en las inversiones requeridas, lo cual es muy importante para la planeación de los proyectos de riego con aprovechamiento de aguas residuales. Tampoco se debe olvidar que el sistema de riego elegido se adapte al tipo de cultivo que se va a regar, a la topografía del terreno de labor, a la clase de suelos, a la calidad del agua y a la disponibilidad del recurso (que tiene que ver con la eficacia de aplicación de los sistemas). En este sentido, resulta de mucha utilidad considerar algunas condicionantes de la utilización como las que se detallan en la tabla 19.

Tabla 17. Factores que favorecen la elección del método de riego

Factor	Riego de superficie	Aspersión	Riego localizado
Precio del agua	Bajo	Medio	Alto
Suministro del agua	Irregular	Regular	Continuo
Disponibilidad del agua	Abundante	Media	Limitada
Pureza	No limitante	Sin sólidos	Elevada
Capacidad de infiltración del suelo	Baja a media	Media a alta	Cualquiera
Capacidad de almacenamiento del suelo	Alta	Media a baja	No limitante
Topografía	Plana y uniforme	Relieve suave	Irregular
Sensibilidad al déficit hídrico	Baja	Moderada	Alta
Valor de la producción	Bajo	Medio	Alto
Costo de la mano de obra	Bajo	Medio	Alto
Costo de la energía	Alto	Bajo	Moderado
Disponibilidad del capital	Baja	Media a alta	Alta
Exigencia en tecnología	Limitada	Media a alta	Elevada

Fuente: Pereira y Trout, 1999.

Tabla 18. Factores a considerar en la selección del método de riego

Método de riego	Factores	Medidas especiales necesarias
Riego por inundación	Menor costo. No se requiere nivelación exacta Baja eficiencia en el uso del agua. Bajo nivel de protección sanitaria	Rigurosa protección de los trabajadores agrícolas que manipulen agua de riego o cultivos.
Riego por surcos	Bajo costo. Se puede necesitar nivelación. Baja eficiencia del uso del agua Nivel medio de protección sanitaria	Rigurosa protección de los trabajadores agrícolas que manipulen agua de riego o cultivos.
Riego por aspersión	Costo medio a alto. Eficiencia media en el uso del agua. No se requiere nivelación. Bajo nivel de protección sanitaria	Distancia mínima de 50-100m desde casas y caminos. Restricción de la calidad del agua (eliminación de agentes patógenos). No se deben usar desechos anaeróbicos, debido a malos olores. Uso de miniaspersores.
Riego subterráneo y por goteo	Alto costo, alta eficiencia en el uso del agua, mayores rendimientos, mayor nivel de protección sanitaria	No se requieren medidas de protección, restricción de la calidad del agua (requiere filtración, para evitar que los dispositivos se obstruyan).

Fuente: Lazarova y Bahri (2005,2008).

Finalmente, otro punto importante que deberá tomarse en cuenta en la selección del método de riego, serán las condiciones de mercado que en muchos países consideran aspectos de inocuidad alimentaria, que tienen que ver, entre otras cosas, con la calidad sanitaria del producto. Donde el método de riego tendrá influencia al permitir o evitar el contacto del agua con los frutos o productos.

También puede ayudar en la selección del método de riego los factores analizados en las tablas 19 y 20, según las condiciones de la zona de reúso, el cultivo de interés y considerando las observaciones de sus autores.

Tabla 19. Condicionantes para diferentes sistemas de riego cuando se use agua residual

Sistema de riego	Cultivos	Topografía	Permeabilidad del suelo	Calidad del agua requerida y Cantidad de agua que demanda	Eficiencia de aplicación en %
Riego por aspersión					
Portátil	Árboles frutales, forrajes, cereales, forrajes (pastos y alfalfas).	Terrenos con desnivel máximo de 20%	2.5 mm/hora	De buena calidad fisicoquímica (baja salinidad y baja toxicidad) Demanda moderada	Alta 70-80
Móviles con desplazamiento lateral	Oleaginosas y gramíneas y cultivos forrajeros cuya altura no exceda 90 cm.	Terrenos con desnivel máximo de 15%			
Pivote central	Cereales, oleaginosas y cultivos forrajeros. No se recomienda para riego de árboles.		Mínima de 7.5 mm/hora		
Cañón de riego	Cultivos forrajeros, granos y cereales.				
Fijos (Micro-aspersión o goteo)	Árboles frutales, leguminosas, oleaginosas, hortalizas.	Sin restricción		De buena calidad fisicoquímica y bacteriológica. Baja demanda.	
Riego por gravedad					
Melgas o surcos (hasta 4.5 m de ancho)	Viñedos, cereales y cultivos forrajeros.	Terrenos con desnivel máximo de 7%. Con un desnivel transversal de 0.2%	Mínima de 2.5 mm/hora y máxima de 150 mm/hora.	De buena calidad fisicoquímica (baja salinidad y baja toxicidad). Alta demanda.	Baja 55-65
Melgas o surcos anchos (40 cm)	Cereales, oleaginosas, leguminosas y cultivos forrajeros.	Desnivel máximo de 1.0 % Con un desnivel transversal de 0.2%			

Adaptada de Möller *et al*, 2015.

Tabla 20. Guía para la selección del método de riego

Método de riego	Topografía	Cultivos	Observaciones
Melgas o franjas anchas.	Pendientes que pueden ser ajustadas a menos del 1% y preferiblemente al 0.2%.	Alfalfa y otros cultivos de raíz profunda y frutales.	Ideal para regar cultivos densos donde la topografía es favorable. En terrenos planos se requiere una pendiente uniforme en la dirección del riego, siendo más convenientes con pendientes arriba del 0.5%, los cambios de pendiente deberán ser ligeros y se deberán evitar las contra pendientes y las transversales.
Melgas o franjas angostas.	Pendientes que pueden ser ajustadas al 4% o menos y preferiblemente de menos del 1%.	Pastos.	Adaptados a suelos superficiales, sobre una capa endurecida de arcilla o suelos de baja infiltración, son deseables las pendientes uniformes en dirección del riego, los cambios severos en la pendiente y contrapendiente deberán ser suavizados, la pendiente transversal es permisible cuando se limita a una diferencia de elevación entre bordos de 6 a 9 cm.
Surcos transversales.	Pendientes que pueden ser ajustadas a 0.2% o menos.	Frutales.	Este método es aconsejable para tener una buena distribución y penetración del agua, sobre todo en suelos con baja capacidad de infiltración.
Corrugaciones.	Tierras cuyas pendientes deben ser ajustadas del 0.5 al 12%.	Alfalfa, pastos y cereales.	Este método se adapta a terrenos con fuerte pendiente y pequeños caudales de riego, es conveniente pero no esencial una pendiente uniforme en la dirección del riego, los cambios bruscos en pendientes, deberán ser corregidos, debido a la tendencia a obstruirse de las corrugaciones, desbordar y causar erosión, deberán evitarse las pendientes transversales, lo más posible.
Surcos en contorno.	Terrenos con pendiente variable del 2% al 25%.	Cultivos en hileras y frutales.	Adaptado a cultivos en hileras con fuerte pendiente, aunque presentan riesgo de erosión debido a fuertes lluvias, la pendiente en la dirección del riego debe ser del 0.5 al 1.5%. No hace falta corregir más allá de rellenar las zanjas y remover protuberancias abruptas.
Zanjas a nivel o en contorno.	Pendientes irregulares hasta 12%.	Pastos y cereales.	Especialmente adaptados a pie de colinas, así mismo requiere poca o ninguna nivelación de la superficie.
Diques rectangulares.	Terrenos con pendientes de manera que una o múltiples pozas, de árboles puedan ser nivelados dentro de los 6 cm de altura.	Frutales.	Especialmente adaptado a suelos con alta o baja infiltración, pueden requerir considerable movimiento de suelo.
Diques en contorno a nivel.	Terrenos ligeramente irregulares con pendientes menores a 1%.	Frutales, arroz, cereales, y cultivos forrajeros.	Reduce la necesidad de movimiento del suelo, empleando frecuentemente para evitar la nivelación, mejor adaptado a suelos de alta a baja infiltración.
Tubería portátil.	Pendientes irregulares hasta 12%.	Pastos y cereales.	Adaptado a cultivos forrajeros, requiere poco o ningún movimiento de suelo.

Riego subterráneo.	Pendiente cercana a cero.	Cultivos de raíces poco profundas, como papas y algunos pastos.	Requiere un nivel freático elevado, condiciones muy permeables del subsuelo, y una nivelación precisa. Muy pocas áreas están adaptadas a éste método.
Terrazas de escalones en curvas de nivel.	Terrenos con pendientes hasta del 35%.	Cualquier cultivo.	Considerable pérdida de terrenos debido a la formación de las terrazas, requiere costosas estructuras de caída de agua para evitar la erosión.
Riego subterráneo con tuberías.	Pendientes del 0 al 1.0%.	Cualquier cultivo, cultivos en hileras y de alto valor.	Requiere la instalación de tubería plástica perforada en la zona de raíces a espaciamientos estrechos, existen algunas dificultades cuando las raíces se insertan en las perforaciones, no se pueden corregir espaciamientos, tan fácilmente, se requieren pruebas de campo sobre los diferentes suelos.
Micro riego (goteo y microaspersión).	Cualquier pendiente, apta para cultivos en hilera y frutales.	Frutales y cultivos en hilera.	Se requiere tubería perforada en la superficie del suelo la cual gotea agua, en la base de las plantas o árboles, ha sido usada con éxito en agua salina, y con alta frecuencia de riego, en condiciones en que la salinidad del agua en el suelo es similar a la de riego.

Fuente: Hargreaves y Merkle, 2000.

3.6.1 Método de riego por gravedad en surcos y melgas

El método de riego por gravedad en surcos y melgas, también conocido como riego de superficie, es el más utilizado en zonas con aprovechamiento de aguas residuales, pues representan la opción más económica y conocida por los usuarios del riego.

En este método con sus variantes de surcos y melgas, el productor aprovecha la topografía del terreno para conducir el agua, usando sólo la fuerza de gravedad para que ésta llegue desde el inicio hasta el final del surco. Se puede utilizar en casi todos los tipos de textura de suelos y en todos los cultivos a establecer. Aunque en el caso del reúso de aguas residuales, necesariamente este método de riego deberá ir acompañado de prácticas muy específicas de manejo del suelo (como el cierre de cabeceras al término de cada surco) y del cultivo que eviten en lo más posible el contacto entre el agua y los frutos o productos obtenidos.

La principal ventaja cuando se reúsa agua residual, estriba en que se puede usar



▲ Riego por gravedad



Riego por gravedad

agua cruda o agua proveniente de tratamiento primario, secundario y secundario avanzado, donde la única diferencia será el tipo de cultivos a regar y sus requerimientos de calidad sanitaria en función del destino de los productos, si son para agroindustria, para consumo animal o para consumo humano.

Otra ventaja del uso de éste método es que no requiere de mano de obra calificada para distribuir el agua, pudiendo emplear a gente del lugar para que realice las labores de riego, las cuales son principalmente permitir que el agua ingrese de la toma granja a la parcela y estar al pendiente de los tiempos de cambio del agua de una tabla de riego a otra (una tabla integra a un grupo de surcos o melgas, cuyo número dependerá del gasto de agua con que se cuente para el riego); y sobretodo, de estar supervisando que el agua llegue sin impedimentos en cada surco o melga, desde el inicio hasta el final, lo que garantiza que el agua de riego se distribuya de forma uniforme.

En este sistema también se pueden utilizar sifones para permitir que el agua entre del canal de riego parcelario hacia cada uno de los surcos o melgas en la parcela.

Otra ventaja del uso de este método de riego es que el avance del agua no es sensible a variaciones del viento.

Las principales desventajas de usar este método donde se reúsa agua residual es que, tanto el trabajador de campo como el cultivo entran en contacto con el agua, y por lo tanto, se incrementa el riesgo de salud pública.

Por otro lado, parte de la cantidad de agua que se requiere aplicar se pierde por infiltración y por evaporación, y sólo una pequeña cantidad es aprovechada por los cultivos. Por lo que la eficiencia de aplicación del agua con éste método oscila entre el 40 al 70%

Asimismo, si los suelos no han sido nivelados, se favorece la erosión del suelo, generada por el avance del agua, el cual arrastra a su paso parte de la capa superficial.

Otra desventaja más del uso de éste método de riego es que las sales presentes en el agua residual se acumulan en el perfil del suelo y en su superficie, por lo que se requerirá de agua para efectuar riegos de

lavado de sales al final de cada temporada de producción o se deberá dejar la parcela en descanso para que el agua de lluvia elimine las sales. Además, las plantas siempre se deberán establecer en el lomo del surco o en el medio de la melga, a fin de reducir los daños por sales presentes en el agua.

Finalmente, los surcos o melgas deberán estar cerrados donde terminan, a fin de evitar coleos (escurrimientos) hacia otras parcelas o que los escurrimientos lleguen hacia cauces de agua cercanos contaminándolos. Y esta actividad de preparación del terreno aumenta los costos de producción.

3.6.2 Método de riego presurizado

El método de riego presurizado, también llamado riego localizado, de precisión y alta frecuencia. Es presurizado porque a través de una bomba, el agua se impulsa por los pequeños tubos o mangueras, generándose una presión más alta que la presión atmosférica, lo que permite que el agua salga impulsando los emisores que entregan el agua en forma de gotas cuando el sistema es de goteo o de micro-partículas que semejan lluvia en el caso de los aspersores o microaspersores.

La principal ventaja de este método es que permite una mejor distribución del agua y mejora su eficiencia de aplicación entre 75 a 95%. Además, existen datos que indican que con ellos se ahorra en mano de obra hasta $\frac{3}{4}$ partes de lo que normalmente requiere un método de riego por gravedad.

Una ventaja también importante de este método es que sus variantes (aspersión, microaspersión y goteo) se adaptan perfectamente para cumplir con la calidad sanitaria de los productos regados con aguas residuales, según su destino final. Por ejemplo, en cultivos destinados a la agroindustria como pueden ser granos, cereales u oleaginosas que necesitan ser procesados antes de su consumo, y también en praderas de pastos u otros cultivos forrajeros de corte o para ensilaje para alimentación de ganado, o en cultivos industriales como la caña de azúcar, se puede utilizar sin problema el riego por aspersión en sus modalidades de alta presión como puede ser pivote central o avances frontales. Mientras



▲ Riego por microaspersión en naranja



Riego
presurizado

que en cultivos que sean delicados o de consumo humano en crudo, como uvas, tomates u otros de porte medio y bajo, así como en huertas de frutales se recomienda utilizar riego por aspersión en sus modalidades de baja presión como puede ser riego por goteo, principalmente, o en su defecto microaspersión.

A través de éstos métodos se pueden aprovechar pequeños caudales y llevarlos hasta el cultivo sin pérdida por infiltración o evaporación, que sí ocurren en el riego por gravedad.

Finalmente, se pueden aplicar los fertilizantes en la misma agua de riego, lo que representa un ahorro en mano de obra por este concepto.

Las principales desventajas de usar éstos métodos cuando se reúsan aguas residuales son:

Se requiere de una elevada inversión inicial, pues se deberá considerar la construcción de un pequeño estanque que permita regular y garantizar un volumen de agua constante, y que también sirva para que los sólidos en suspensión que aún traiga el agua se sedimenten. Además de la inversión por el costo del propio sistema de riego que normalmente se destina a la compra de la bomba, los filtros (que pueden ser de arena, malla o de anillas), los tubos o mangueras y los emisores.

Otra de las desventajas de usar este método donde se reúsa agua residual es que el agua debe provenir idealmente de un sistema de tratamiento secundario, sin embargo, aun así se requerirá de filtros para evitar obstrucciones en los componentes del sistema presurizado (generadas por sales u otros minerales disueltos que traen las aguas residuales tratadas). Asimismo, estos filtros requieren de un mantenimiento frecuente, lo que eleva los costos de producción.



4

Cuidados a la salud y calidad del producto para zonas con reúso

Las aguas residuales hoy en día representan un recurso valioso, dado los esfuerzos que los países hacen en la construcción de plantas de tratamiento, que mejoran su calidad tanto fisicoquímica como bacteriológica, y por las bondades que ofrecen al ser fuente de materia orgánica disponible para los cultivos agrícolas, lo que incrementa su potencial productivo. Sin embargo, es innegable que también representan un riesgo de salud pública si no se tratan adecuadamente.

Las aguas residuales crudas o las aguas residuales no tratadas adecuadamente, pueden contener microorganismos patógenos (bacterias, virus, protozoos, helmintos, hongos y levaduras), que están directamente relacionados con enfermedades que afectan la salud de la población que ha estado expuesta, cuyas principales vías son el contacto (debido al manejo del agua usada en el riego agrícola) y por consumo (ingesta de productos contaminados que han sido regados con aguas residuales).

La enfermedad se produce cuando dosis infectivas de patógenos se introducen en el organismo humano o animal, rompiendo su resistencia (inmunidad).

La Organización Mundial de la Salud reconoce que las enfermedades gastrointestinales causadas por bacterias y virus y las enfermedades parasitarias causadas por nematodos, figuran entre las diez primeras causas de morbi-mortalidad en humanos, en países en vías de desarrollo.

La Organización Mundial de la Salud (OMS, 2006) menciona que entre las principales vías de transmisión o exposición a patógenos o contaminantes presentes en el agua residual están: el contacto con el agua o cosechas contaminadas, la inhalación de aerosoles, el consumo de productos regados con éstas o por beber agua contaminada, entre otros.

En este sentido, se reconoce que existe un riesgo implícito por el aprovechamiento de las aguas residuales en las áreas agrícolas, que principalmente se da entre los trabajadores agrícolas (jornaleros y regadores) y este mismo se clasifica en: Riesgo de infección alto o bajo, dependiendo, si las prácticas de manejo del cultivo y del agua se realizan manualmente o en forma mecanizada (Tabla 21).



▲ Riesgo de los jornaleros expuestos al agua residual usada en el riego

Tabla 21. Clasificación del riesgo de infección en zonas con reúso, según el tipo de prácticas agrícolas realizadas

Tipo de prácticas	Bajo riesgo de infección	Alto riesgo de infección	Personas expuestas
Preparación del terreno	Trabajos realizados con maquinaria e implementos agrícolas	Trabajos realizados sin uso de maquinaria agrícola.	Jornaleros
Aplicación del riego	Si se usan sistemas de riego presurizados de baja presión (micro aspersión o goteo)	Si se utiliza riego de gravedad sobre todo si se inunda el terreno. Pero también si se usa aspersión de alta presión (cañones, pivotes o avances frontales por la brisa que se esparce con el viento).	Regadores y personas que vivan cerca.
Cortes de frutos o producto cosechas totales	Trabajos de recolección o cortes mecanizados	Trabajos de recolección o cortes manuales.	Jornaleros
Manejo post-cosecha de los productos	Si los productos cosechados son secos (Granos, algodón, etc.). Y si se suprimió el riego dos semanas antes de la cosecha.	Si los productos cosechados son frescos (Frutas, hortalizas y vegetales) y no se aplicó agua limpia en los dos últimos riegos y no se observaron prácticas de manejo post-cosecha de los productos.	Empacadores y transportistas y comercializadores.

Fuente: Elaboración propia.

Un resumen de los patógenos que pueden estar presentes en aguas residuales y que pueden ser causa de enfermedades, principalmente entre jornaleros agrícolas que laboran en las zonas de reúso y consumidores de los productos, se muestra a continuación (Tabla 22):

Tabla 22. Patógenos que pueden estar presentes en las aguas residuales y enfermedad que producen

Organismo Patógeno	Enfermedad que producen
Helmintos	
Ascaris lumbricoides	Ascariasis
Ancylostoma duodenale	Anquilostomiasis
Ancylostoma spp	Larva Migrante Cutánea
Necator Americanus	Necatoriasis
Strongyloides stercoralis	Estrongiloidiasis
Trichuris trichuira	Trichuriasis
Taenia spp	Teniaisis
Enterobius vermicularis	Enterobiasis
Echinococcus granulosus	Hidatidosis
Schistosoma spp	Schistosomiasis
Protozoos	
Giardia lamblia	Giardiasis
Entamoeba hystolitica	Disentería amebiana
Balantidium coli	Balantidiosis
Crytosporidium parvum	Crytosporidiasis
Cyclospora cayetanensis	Trastornos intestinales
Microsporidia	Diarrea
Bacterias	
Salmonella tiphy	Fiebre tifoidea
Salmonella spp	Salmonelosis
Shigella spp	Shigellosis
Campylobacter jejuni	Gastroenteritis
Helycobacter pylori	Gastroenteritis , úlcera gástrica
Escherichia coli	Gastroenteritis
Vibrio cholerae	Cólera
Legionella pneumophila	Legionelosis/Fiebre de Pontiac
Yersinia Enterocolítica	Yersiniosis
Leptospira spp	Leptospirosis
Virus	
Virus de la Hepatitis A y B	Hepatitis infecciosa
Rotavirus	Gastroenteritis
Enterovirus	Gastroenteritis/meningitis
Parvovirus	Gastroenteritis
Adenovirus	Infecciones respiratorias/Gastroenteritis

Fuente: OMS, 2006.

A continuación se muestra algunas de las principales enfermedades que se presentan en países en desarrollo, especificando el factor de riesgo, los problemas que causan, la forma de transmisión y algunas medidas generales de prevención (Tabla 23):

Tabla 23. Enfermedades por patógenos, formas de transmisión y medidas preventivas

FACTOR DE RIESGO Y AGENTE CAUSAL	PROBLEMA QUE CAUSA	FORMA DE TRANSMISIÓN	MEDIDAS DE PREVENCIÓN QUE MINIMIZAN RIESGOS
Parasitosis por helmintos (Acylostoma duodenale y Necator americano)	En su fase inicial causa dermatitis cutánea. En su fase de movilidad por vasos sanguíneos, vasos linfáticos, pulmones e intestino causan anquilostomiasis que se caracteriza por causar cuadros de anemia y desnutrición que son factores que favorecen el desarrollo de otras enfermedades.	Por contacto con sitios contaminados como suelos. Las larvas atraviesan la piel de los pies desnudos de regadores y jornaleros	Utilizar prendas de protección como botas largas de hule durante las labores. Desparasitación al menos una vez al año.
Parasitosis por helmintos (Ascaris lumbricoides)	Una vez que los huevos ingresan al organismo se incuban y se desarrollan larvas en el intestino delgado, éstas migran por el torrente sanguíneo y llegan a los pulmones y al estómago y al intestino delgado otra vez, donde depositan huevos que salen por las heces. En su paso por los pulmones pueden causar neumonía, y en su migración a través de los diferentes órganos mencionados se puede presentar fiebre baja, dolor de estómago, abdominal, vómitos. Las complicaciones que pueden presentarse son: Obstrucción de las secreciones del hígado (vías biliares). Bloqueo en el intestino. Orificio (perforación) en el intestino.	Por contacto con agua, suelos o productos agrícolas contaminados.	Utilizar prendas de protección como guantes de látex durante las labores. No ingerir alimentos ni bebidas durante las labores de manipulación de regaderas y agua de riego. Lavarse las manos con agua y jabón antes de ingerir alimentos o bebidas. Tratamiento de rutina o preventivo (profiláctico) con desparasitantes dos veces al año.
Parasitosis por Amibiasis (Entamoeba hystolítica)	Puede no dar síntomas o puede producir diarrea, colitis amibiana, inflamación del colon, disentería fulminante entre otras.	Ingestión de agua o alimentos contaminados con materia fecal que puede contener el agua de riego. Los quistes pueden introducirse en los alimentos o en las bebidas de manera indirecta a través de la manipulación con las manos y uñas sucias.	Utilizar prendas de protección como guantes de látex y tapabocas, durante las labores. No ingerir alimentos durante las labores de manipulación de regaderas y agua de riego. Observar buena higiene personal, y mantener las uñas recortadas. Lavarse las manos con agua y jabón antes de ingerir alimentos. Desparasitación al menos dos veces al año.

Parasitosis por <i>Giardia lamblia</i> . Giardiasis	Infección en el intestino, cuyos síntomas aparecen entre 7 a 14 días, después que se produjo la infección. Se pueden presentar diarrea, fiebre baja, dolor abdominal acompañado de gases y distensión, dolor de cabeza, náuseas e inapetencia. Se pueden presentar complicaciones como deshidratación, mala absorción de nutrientes y pérdida de peso.	Ingestión de agua o alimentos contaminados con el parásito.	Utilizar prendas de protección como guantes de látex y tapabocas, durante las labores. No ingerir alimentos durante las labores de manipulación de regaderas y agua de riego. Lavar las manos con agua y jabón antes de ingerir alimentos o bebidas.
Enterocolitis por salmonelosis	Cuadros febriles asociados a problemas gastrointestinales (diarrea principalmente).	Ingestión de agua o alimentos contaminados con la bacteria. La bacteria puede introducirse en los alimentos o en las bebidas de manera indirecta a través de la manipulación con las manos y uñas sucias.	Utilizar prendas de protección como guantes de latex y tapabocas, durante las labores. No ingerir alimentos durante las labores de manipulación de regaderas y agua de riego. Lavar las manos con agua y jabón antes de ingerir alimentos o bebidas. Vacunación oral o parenteral con refuerzos cada 5 y 3 años respectivamente.
Gastroenteritis por <i>Campylobacter jejuni</i>	Una vez que la bacteria ha ingresado al organismo humano, éstas infectan y atacan el revestimiento de los intestinos. Se presenta diarrea, fiebre y dolor y distensión abdominal. Las bacterias también pueden entrar en el torrente sanguíneo e infectar la sangre del paciente, produciéndole una bacteriemia. En contadas ocasiones la campylobacteriosis puede provocar el síndrome de Guillain-Barre, enfermedad autoinmunitaria muy poco frecuente.	Ingestión de agua o alimentos contaminados con la bacteria.	Utilizar prendas de protección como guantes de látex y tapabocas, durante las labores. No ingerir alimentos durante las labores de manipulación de regaderas y agua de riego. Lavar las manos con agua y jabón antes de ingerir alimentos o bebidas.
Hepatitis por virus La más común es la hepatitis A.	Inflamación del Hígado. Se produce cansancio, debilidad, picores, dolor en el lado superior derecho del abdomen, orina de color marrón, heces de color claro, falta de apetito y pérdida de peso, así como pigmentación de color amarillo en la piel principalmente de las manos y de la parte blanca del ojo.	Ingestión por agua o alimentos contaminados con materia fecal que puede contener el virus. Los virus pueden introducirse en los alimentos o en las bebidas de manera indirecta a través de la manipulación con las manos y uñas sucias.	Utilizar prendas de protección como guantes de latex y tapabocas, durante las labores. No ingerir alimentos durante las labores de manipulación de regaderas y agua de riego. Lavar las manos con agua y jabón antes de ingerir alimentos o bebidas. Vacunación preventiva cíclica.

Fuente: Adaptado de Cisneros *et al*, 2008.

Debido a que la mayoría de los consumidores ignoran la procedencia y la calidad del agua utilizada en los productos agrícolas que se expenden en los mercados populares e incluso en los supermercados, se recomienda observar medidas de higiene antes de consumir los alimentos.

En general las medidas que se pueden tomar para mejorar la calidad sanitaria de productos agrícolas y prevenir enfermedades, una vez que los alimentos han llegado hasta los hogares se pueden observar en la Tabla 24:

Tabla 24. Recomendaciones para reducir riesgos de salud en consumidores de productos agrícolas

Tipo de producto	Forma de consumo	Recomendaciones para reducir riesgos de salud
Frutas, hortalizas y verduras de consumo en crudo	En crudo y consumida de inmediato	Descartar productos dañados con heridas, cortes o rajaduras, lavarlos, desinfectarlos o pelarlos.
Verduras, bulbos, tubérculos y leguminosas	Cocidas y consumidas de inmediato	Lavar o enjuagar, quitando todo residuo de tierra y cocer perfectamente.
Cualquiera de origen agrícola que se comercialice en fresco	Diferido con periodo de almacenamiento a temperatura ambiente o en refrigeración	Lavar, enjuagar o desinfectar antes de su almacenamiento.

4.1. Recomendaciones para trabajadores agrícolas, antes, durante y después del riego

Debido a que los trabajadores agrícolas constituyen el primer eslabón de riesgo en las zonas con aprovechamiento de aguas residuales tratadas o no, las recomendaciones que se esbozarán en este apartado corresponden al uso de prendas de protección, a la higiene que deben observar durante su jornada de labor y después de ella, así como recomendaciones generales para preservar su salud y la de sus familias.

Es importante recordar que existe un mayor riesgo de contraer enfermedades en trabajadores que de forma manual realicen las labores que requiera el cultivo, que en aquellos que operan la maquinaria agrícola para ejecutar las labores de forma mecanizada.

4.1.1 Uso de prendas de protección

En virtud del riesgo que existe al manipular aguas residuales tratadas o no, y contraer enfermedades de la piel, enfermedades gastrointestinales y de otro tipo como las mencionadas al inicio de este capítulo, se recomienda que todos los trabajadores agrícolas que entren en contacto con el agua de riego y con los cultivos utilicen ropa de protección, lo que sin duda reducirá enormemente el riesgo de contraer enfermedades.

Las prendas de protección que se recomienda para **regadores** son:

- a. **Uso de botas de hule** que protegerán sus pies y evitarán el contacto con el agua y el suelo, donde pueden estar presentes larvas de lombrices como: *Acylostoma duodenale* y *Necator americano*, que son capaces de atravesar la piel desnuda de los pies no protegidos, causando en principio dermatitis cutánea y en estados avanzados anquilostomiasis, cuyos síntomas son debilidad y anemia, entre otros.

Una variante al uso de botas de hule puede ser el uso de las botas-pantalón, que además de proteger

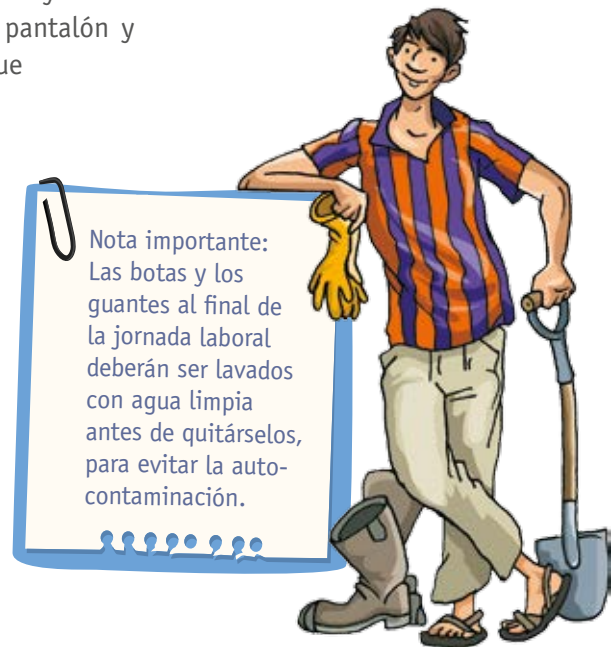


los pies, evita que todo el torso bajo del cuerpo entre en contacto con el agua, o roce con los cultivos de porte bajo y medio.

- b. **Uso de mascarillas** (para partículas), protegerá su boca y su nariz de las micropartículas contaminadas y de los gases que desprenden las aguas residuales al ser manejadas para encausarlas hacia el interior de las parcelas. Además, durante su uso, se evita que el trabajador pueda llevar residuos de tierra en sus manos al área de la boca o nariz, y que de esta forma ingresen al organismo causando enfermedades. El uso de la mascarilla también protegerá a los trabajadores que participen de las labores culturales de parcelas regadas con aguas residuales, donde por el trabajo se generen polvos; práctica que también disminuirá riesgos de salud.
- c. **Uso de guantes de látex** (para trabajo pesado o industrial), que protegerán sus manos durante la manipulación del agua, suelo o compuertas para distribuir el agua en la parcela. Resultan muy útiles para evitar el contacto de las manos con el agua y el suelo y que se acumulen residuos de tierra bajo las uñas, con lo que se reduce el riesgo de contraer enfermedades, principalmente de tipo dérmico y gastrointestinal.
- d. **Vestimenta de trabajo**, de ser posible se recomienda que la vestimenta habitual de trabajo sea de algodón y de colores claros (ejemplos: Camisola de manga larga, pantalón y gorra o sombrero o cualquier otro accesorio que le proteja del sol). Por ser fresca, hace más llevadero el uso de las prendas de protección que deberá portar durante su jornada de trabajo.

Las prendas de protección que se recomienda para otros trabajadores agrícolas que participen de labores culturales y/o de la cosecha de productos son básicamente las mismas que para regadores, sólo que cumplen funciones diferentes y el material puede variar:

- a. **Uso de botas de hule o cuero**, estas protegerán sus pies al entrar en contacto con el suelo húmedo, la tierra suelta o el polvo, donde pueden estar presentes diversos patógenos, pero también los protegerán de la picadura de algún animal.
- b. **Uso de mascarillas** (para partículas), ésta protegerá su boca y su nariz del polvo y de residuos de tierra que podrían contener patógenos. Pero también evita que el área de la nariz y de la boca sea tocada con las manos conteniendo residuos de plantas o frutos que pudieran estar contaminados.
- c. **Uso de guantes de látex** (para trabajo pesado), que protegerán sus manos durante la manipulación de malezas, cultivos o frutos de cosecha que pudieran estar contaminados. Los trabajadores que participen de la labor de preparación, mezcla o aplicación de plaguicidas no deben usar guantes de cuero o tela, pues absorben los plaguicidas, se recomienda en este caso usar guantes de neopreno ligero o nitrilo.
- d. **Vestimenta de trabajo**, de ser posible se recomienda que la vestimenta habitual de trabajo sea de algodón (Ejemplos: Camisola de manga larga, pantalón y gorra o sombrero), que es fresca



Nota importante:
Las botas y los guantes al final de la jornada laboral deberán ser lavados con agua limpia antes de quitárselos, para evitar la autocontaminación.

y permite realizar con comodidad sus labores en el campo y además es de fácil lavado. En el caso de trabajadores que participen de la preparación, mezcla y aplicación de plaguicidas se recomienda que sobre su vestimenta se coloquen un traje de protección completo (overol con capucha).

4.1.2 Higiene durante la jornada de trabajo y después de ella

Partiendo que existe una responsabilidad personal de mantener la salud, se esbozan de manera general las prácticas de higiene que es importante que observen los trabajadores agrícolas durante la jornada de trabajo, tienen que ver con:

- a. El uso adecuado de las prendas de protección durante la jornada laboral (uso de botas de hule, guantes y mascarillas, que no presenten daños o cortaduras).
- b. No ingerir alimentos o bebidas durante las labores dentro de la parcela.
- c. Lavar las manos con agua limpia y jabón durante su receso para tomar alimentos o bebidas fuera de la parcela.



Nota importante: Las botas y los guantes al final de la jornada laboral deberán ser lavados con agua limpia antes de quitárselos, para evitar la auto-contaminación.



Además, tomar en cuenta las prácticas de higiene que deberán observar los trabajadores agrícolas después de la jornada de trabajo, tienen que ver con:

- a. Bañarse diariamente (usando agua limpia y jabón), para quitar cualquier residuo que se hubiera adherido a su ropa o cuerpo durante su labor en la parcela.
- b. Cambio de ropa por prendas limpias y secas.
- c. No almacenar ropa sucia de trabajo que pueda ser manipulada por niños o animales, contaminándose de esta forma e incrementando los riesgos de contraer alguna enfermedad.

- d. Lavado de ropa de trabajo (usando agua limpia y jabón), y de preferencia secarla al sol.
- e. Mantener limpias y recortadas las uñas.
- f. Revisarse minuciosamente y en su caso tratar cualquier lesión.
- g. Cumplir con su programa de desparasitación (al menos dos veces al año).
- h. Acudir al servicio médico en caso de presentar síntomas de cualquier enfermedad.



4.1.3 Recomendaciones generales para preservar la salud de las familias

Las familias de los trabajadores agrícolas constituyen el segundo eslabón en la cadena de riesgos asociados al reúso de las aguas residuales en la agricultura, derivado del contacto que existe entre el trabajador expuesto directamente, los aperos de trabajo que traslada del campo a su hogar, de la ropa de trabajo que requiere ser lavada en casa, así como de productos agrícolas producidos en la zona para integrarlos a su dieta. Por lo que las recomendaciones generales sobre higiene se deben extender a toda la familia a fin de preservar su salud.



Las principales prácticas de higiene que deberán observar las familias tienen que ver con:

- a. Aseo personal diario, poniendo énfasis en el lavado de manos antes de preparar y/o consumir alimentos o bebidas.
- b. Lavado, desinfección o cocido de alimentos provenientes de los campos de labor, antes de ser consumidos.
- c. Participar del lavado de ropa de trabajo para evitar que se acumule ropa sucia que contenga residuos que pongan en riesgo la salud de la familia.
- d. Mantener fuera de la vivienda cualquier apero o herramienta de trabajo que se use en los campos agrícolas y manteniéndolos fuera del alcance de niños o animales.
- e. Cumplir con el programa familiar de desparasitación (al menos dos veces al año).

4.2 Recomendaciones generales para mejorar la calidad sanitaria de los productos de consumo

Los consumidores constituyen el último eslabón en la cadena de riesgos asociados al reúso de aguas residuales tratadas para riego agrícola. Por lo cual, en este apartado se esbozarán algunas recomendaciones generales de higiene que deberán



observar los consumidores a fin de mejorar la calidad sanitaria de los productos provenientes de zonas agrícolas con reúso.

En virtud que los productos agrícolas que llegan a la mayoría de los mercados o centros de abasto carecen de una etiqueta que especifique el lugar de procedencia, y mucho menos, se puede saber con certeza que calidad de agua fue usada en el riego agrícola, se cierne sobre la población un riesgo de salud asociado al consumo de alimentos. Por ello, es muy importante que el consumidor esté consciente de los riesgos de enfermedades de tipo gastrointestinal a consecuencia del riego con aguas residuales en cultivos agrícolas, y tome medidas que coadyuven a preservar la salud propia y de sus familias.

Las principales medidas de higiene que deberán observar los consumidores se relacionan con:

- a. Descartar cualquier vegetal, tubérculo o fruta que traiga rajaduras.
- b. Lavar con agua limpia y desinfectar; pelar productos vegetales, hortalizas o frutas que se consuman en crudo.
- c. Lavar con agua limpia y jabón, así como pelar tubérculos o raíces que se usen en jugos (zanahorias, betarraga, jengibre, etc.).
- d. Enjuagar con agua limpia y cocinar adecuadamente cualquier producto de origen agrícola que sea comprado en fresco (habas, arvejas, papas, chayotes, berenjenas, camotes, etc.).
- e. Sólo guardar productos lavados o desinfectados si no van a ser consumidos de inmediato.
- f. Cumplir con un programa familiar de desparasitación (al menos 2 veces al año).





Siglas y Definiciones

Aguas residuales (AR): Aguas de composición variada, provenientes de las descargas de usos domésticos, municipales, industriales, comerciales, de servicios, agrícolas, pecuario y en general de cualquier otro uso, así como la mezcla de ellas.

Aguas residuales tratadas: Es el agua residual que pasa por un tren de tratamiento con procesos fisicoquímicos y biológicos, con el objetivo de remover contaminantes, mejorando su calidad permitiéndole ser apta para su reúso.

Aguas de reúso: Aguas residuales que han sido tratadas y que cumplen con calidad para su reutilización en diversas actividades productivas, entre ellas la agricultura de riego.


Agricultura: Cultivo de la tierra que le permite al hombre obtener algún beneficio o satisfactor.

Acolchado plástico: Es una técnica empleada en agricultura, en la que se usa una película de polietileno, sobre los surcos o camas de siembra, con el objetivo de: reducir la evaporación del agua de riego, controlar malezas, aumentar la temperatura del suelo y acelerar la cosecha, reducir la erosión y evitar el contacto entre el agua de riego y el cultivo, lo que redundará en una mejor calidad sanitaria de los productos agrícolas.

Acuicultura: Es la técnica que permite aumentar la producción de animales y plantas acuáticas de forma controlada, que le permite al hombre obtener algún beneficio o satisfactor.

Alomadora agrícola: Máquina agrícola que se acopla con el motocultor y se usa para formar de manera mecanizada las camas de siembra, en terrenos agrícolas.

Calidad del agua: No existe una definición, sin embargo la calidad del agua se refiere a la condición del agua en función de las características fisicoquímicas y bacteriológicas que guarda dependiendo de su origen, del uso a que se destinó y del reúso que se pretenda. Desde la perspectiva



de su gestión, la calidad del agua se define por su uso final. Y es un factor que determina la salud de los ecosistemas y el bienestar humano, de ella depende la biodiversidad, la calidad de los alimentos, las actividades económicas. Y es un factor que influye en la pobreza o riqueza de un país.

Calidad sanitaria de productos: Calidad de los productos agrícolas de estar libres de elementos nocivos principalmente para sus consumidores.

Coliformes Fecales: Es un grupo de bacterias que tienen ciertas características bioquímicas en común y son de mucha importancia como indicadores de contaminación del agua y de los alimentos. El término Coliforme viene de la bacteria principal de este grupo que es la *Escherichia coli* que es de origen fecal. Se utilizan como indicador de contaminación bacteriológica del agua.

Descartar: Significa desechar, rechazar, o excluir.

Desparasitación: Tratamiento para eliminar los parásitos.

Divulgación de riesgos: Término que se aplica al acto de dar a conocer a través de material informativo la probabilidad de ocurrencia de daño o perjuicio. Haciéndolo del conocimiento público.

Entutorado de cultivos: Es una técnica de manejo del cultivo que consiste en colocar, líneas guía, compuestas de palos, cañas o estacas, además de cuerdas u otro material, en la proximidad de las plantas para que estas se apoyen en ellas y crezcan de manera vertical. Se utilizan para mantener las plantas erguidas, evitando el contacto de los frutos con el suelo y el agua de riego. Su uso más común es en cultivo de arvejas o chícharos, pimientos, pepinos, tomates, chiles, etc.

Ensilar: Proceso de conservación del forraje cortado, basado en una fermentación anaerobia controlada.

Eslabón de riesgo: Pieza o elemento necesario en la sucesión de hechos de ocurrencia de daño o perjuicio.

Forestación: Actividad que se ocupa de gestionar la práctica de las plantaciones de árboles con fines medioambientales o comerciales.


Grasas y aceites: Lípidos residuales contaminantes del agua, que se pueden presentar en estado sólido o líquido y que poseen diversas estructuras químicas.

Henificar: Es el proceso por el cual se convierte un forraje cortado en verde en un producto que puede ser almacenado de forma segura disminuyendo las pérdidas de materia seca y nutrientes. Se basa en almacenar los forrajes disminuyendo la humedad de estos de un 70 a 90% con que entran al silo hasta reducirla a 20 ó 25%.

Huevos de Helmintos: El huevo constituye la etapa contagiosa de los parásitos de helminto (gusanos llamados lombrices), que son excretados por las heces y que contaminan las aguas, el suelo o los alimentos y que pueden parasitar a los humanos o animales. Se utilizan como indicador de contaminación bacteriológica del agua.

Lavado de sales: Es la medida de mejoramiento más eficaz para combatir la salinización de terrenos agrícolas de riego. Que consiste en aplicar una lámina de sobre riego para eliminar las sales de la zona de raíces.

Manto Freático: Agua de infiltración en el suelo que se ubica a poca profundidad; también es llamada capa freática o tabla de agua y corresponde a la zona saturada del suelo donde los huecos o poros entre los granos de tierra se llenan de agua. Una aportación excesiva de agua (riego o lluvia), pueden elevar el manto freático hacia la zona de raíces. El movimiento ascendente y descendente del nivel freático es una de las causas de problemas de salinización de terrenos.



Malezas: Son plantas indeseables que crecen como organismos macroscópicos junto con las plantas cultivadas, interfiriendo en su desarrollo y productividad.

Melga: Porción generalmente rectangular de terreno utilizada para la siembra de cultivos, limitada por bordos o canales.

Monitoreo de calidad del agua: Es una herramienta fundamental en el manejo del agua, consiste en el muestreo sistemático de toma de muestras de agua y acciones para su análisis, bajo un procedimiento metodológico y técnicas seleccionadas, que tienen como objetivo determinar y controlar la calidad del agua en un punto, una zona o sitio de interés

Nivelación del suelo: Es la tarea que consiste en eliminar los altos o bajos del terreno, emparejándolo, obteniendo una pendiente constante, no erosiva, que permita el movimiento del agua para una distribución uniforme, favoreciendo una reducción de la cantidad de agua a aplicar.

NOM-001-SEMARNAT-96: Norma Oficial Mexicana 001, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.

Pacas: Atado de forrajes cortados, que comúnmente tienen forma rectangular, también son llamados fardos.

Patógenos: Microorganismos (bacterias, virus, protozoos y helmintos) capaces de causar daño o enfermedades.

Parvas: Montículos de forma cónica, de forrajes cortados y dispuestos sobre el propio campo de cultivo, que favorece el secado del forraje antes de su transporte o almacenamiento.

Permeabilidad del suelo: Es la propiedad que tienen los suelos agrícolas, de permitir la infiltración del agua y el aire. El concepto permeabilidad puede recibir también las acepciones de conductividad o transmisividad hidráulica, dependiendo del contexto en el cual sea empleado.

Población expuesta: Grupo o conglomerado de personas que son susceptibles de padecer una enfermedad, al entrar en contacto con algún contaminante o ingerir algún producto contaminado.

Plantas Halófitas: El término halófito se refiere a plantas tolerantes a sales. Aunque no existe una definición aceptada de ese término, sin embargo se usa para clasificar a las plantas que crecen en ambientes con suelos salinos.

Prácticas culturales: Es un grupo de técnicas y acciones de manejo que el productor agrícola emplea dentro del ciclo del cultivo, tendientes a lograr todo el potencial productivo del cultivo.


Patrón de cultivos: Conjunto de cultivos que se establecen de forma tradicional, en determinados ciclos agrícolas en una zona específica.

Prácticas de Higiene: Son los hábitos, cuidados, prácticas, acciones o técnicas que se realizan de manera personal o en grupo, tendientes a conservar la salud o prevenir enfermedades.

Prácticas de manejo del cultivo: Son las acciones específicas que se toman para proteger al cultivo o sus frutos, buscando que éste tenga una calidad sanitaria óptima para no poner en riesgo a los consumidores.

Prendas de protección: Es el equipo que debe portar el trabajador agrícola durante toda su jornada laboral y que lo protege de la exposición a contaminantes presentes en el agua residual de reúso y/o en los cultivos regados con estas aguas.

Restricciones: Limitaciones o reducciones, naturales o impuestas, según corresponda. El concepto se utiliza para marcar un límite.



Riesgo: Expresión cuantitativa de la probabilidad de ocurrencia de daño o perjuicio.

Riesgos de salud: Exposición de un individuo o grupo de individuos a ciertos contaminantes, lo que aumenta su probabilidad de sufrir una enfermedad.

Riego de gravedad: Es el método de riego más antiguo, que utiliza las pendientes naturales o artificiales del terreno y la fuerza de gravedad para aplicar y distribuir el agua de riego en una parcela.

Riego presurizado: Es un método de riego moderno, que incluye el riego por aspersión en sus distintas modalidades y el riego por goteo. Utiliza tuberías, mangueras o cintilla, a través de la cual se conduce el agua de riego a una presión por encima de la presión atmosférica, lo que permite que el agua salga a cierta velocidad, accionando el movimiento de los aspersores, o enviando el agua de forma uniforme hacia los goteros.

Riego restringido: La utilización de agua residual destinada a la actividad de siembra, cultivo y cosecha de productos agrícolas, excepto legumbres y verduras que se consumen crudas.

Riego no restringido: La utilización del agua residual destinada a la actividad de siembra, cultivo y cosecha de productos agrícolas en forma ilimitada (agua con calidad para riego de forrajes, granos, frutas, legumbres y verduras).

Rotocultor agrícola: Implemento agrícola utilizado en la preparación del terreno para la siembra de cultivos. Está diseñado para mover la tierra de manera superficial (hasta 15cm de profundidad),

Salinización de terrenos: Es un fenómeno que se presenta en mayor medida en zonas agrícolas ubicadas en zonas áridas y semiáridas; favorecido por: el tipo de suelos, por altas temperaturas y altas tasas de evaporación, así como por la presencia de drenaje pobre o deficiente y mantos freáticos someros, una mala práctica del riego y uso de aguas de riego de mala calidad fisicoquímica.

SEMARNAT: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Dependencia del Gobierno Federal Mexicano, que se encarga de impulsar la protección, restauración y conservación de los ecosistemas y recursos naturales y bienes y servicios ambientales de México con el objetivo de propiciar su aprovechamiento y desarrollo sustentable).

Sólidos Disueltos Totales (TDS o STD): Es la cantidad total de sólidos disueltos en el agua. Es una medida de la presencia en el agua de sustancias orgánicas e inorgánicas en forma molecular, ionizada o microgranular. Los SDT se utilizan como un indicador de la contaminación química o concentración de sales en el agua.

Surco: Hendidura que se hace en la tierra con el arado, para preparar la siembra de semilla o el trasplante de plántulas, sobre el lomo y en el fondo conducir el agua de riego por gravedad.



Referencias bibliográficas

Araya M.; Boschini, F. (2005). Producción de forraje y calidad nutricional de variedades de Pennisetum purpureum en la Meseta Central de Costa Rica. Agronomía Mesoamericana 16(1): 37-43.

Ayers, R. S. y D. W. Westcot. (1987). La calidad del agua en la agricultura. Estudio FAO Riego y Drenaje No. 29, Rev. 1.

CEPIS (2002). Manual de Diseño de Galerías Filtrantes. Unidad de Apoyo Técnico para el Saneamiento Básico del área rural. 84 pp.

Cisneros E. O.X., Zatarain M.F., González M.J. Pulido M.L y Díaz Magaña J.A. (2008). Diagnóstico del uso de las aguas residuales en la agricultura en México. Informe de Proyecto Interno RD-0802.1. IMTA-SEMARNAT. 157 P.

CP-CNA (2004). Proyecto Siembra Aérea de Kochia scoparia, en la zona federal del ex lago de Texcoco. Reporte Técnico. 29 P. Septiembre-2004.

D'itri, F.M., Aguirre, J., Athie, (1981). M. Municipal Wastewater in Agriculture ed. USA. Academic Press.

Duran G., J.R. (2005). Chihuahua, el vital líquido a través de los tiempos. Universidad Autónoma de Chihuahua. 318 pp.

Flores, D. A., V. Gálvez, O. Hernández, J. G. López, A. Obregón, R. Orellana, L. Otero y M. Valdés. (1996). Salinidad: un nuevo concepto. Universidad de Colima, Universidad- Autónoma Metropolitana, Ministerio de Agricultura de Cuba. 137 P.

García Giménez Juan. (2010). Experiencias en prácticas de manejo de aguas servidas para la producción agrícola a pequeña escala. Recomendaciones de políticas Públicas en el ámbito Local. Editado por la FAO. 131 pp.

Graham, P., y C. Vance. (2003). Legumes: Importance and constraints to greater use. Plant Physiology, 31:872-877.

Gobierno de España-Ministerio de Economía, 2010. Ejemplos prácticos de reutilización de agua residual tratada y regenerada para el riego de Cultivos. Evaluación de Riesgos. Editado por el Gob. de España- Programa Ingenio 2010 y Consolider Tragua. 32 pp.


Hamilton, A. J., F. Stagnitti, R. Premier, A-M. Boland And G. Hale. (2006). Quantitative microbial risk assessment models for consumption of raw vegetables irrigated with reclaimed water. Appl. Environ. Microbiol. 72(5): 3284-3290

Hargreaves, G.H.y Merkleyi, G.P. (2000). Fundamentos del Riego. Un Texto de Tecnología Aplicada para la enseñanza del riego a nivel intermedio. Water Resources Publications, LLC USA.

Hartge, K. H. and Horn, R. (1999), "Einführung in die Bodenphysik. Enke Verlag". Stuttgart.

Hillel, D. (1998), "Environmental soils physics" Academic Press, New York.

Jami, Al Ahmadi, M and M. Kafi. (2006). Salinity effects on germination properties of Kochia (Kochia scoparia L.) Schrad. Asian J. Plant Sci. 5: 71-76.



Jiménez C., B., CH. Siebe G. Y E. Cifuentes G. (2005). El Reúso Intencional y no Intencional del Agua en el Valle de Tula. pp. 33-55. In: El Agua en México Vista desde la Academia. Jiménez, B.; Marín, L. (eds.). Ed. Academia Mexicana de Ciencias. México D.F., México.

Labrador Juana (2003). La Materia Orgánica, base de la Fertilización. En: Fundamentos de Agricultura Ecológica. Realidad y Perspectivas. Colección Ciencia y Técnica 41. Ediciones de la Universidad de Castilla-La Mancha. Pág. 114.

Labrada R. y Parker C. (1994). Weed Control in the context of Integrated Pest Management. Weed Management for Developing Countries. Edited R. Labrada, J. C. Caseley y C. Parker, Plant Production and Protection Paper No. 120, FAO, Rome, pp. 3-8.

Latinoamericarenovable.com. (2013). Salicornia una especie promisoría para bioenergía. En: www.Latinoamericarenovable.com/2013/09/21/salicornia. Consultado el 15 de abril de 2015.

Lazarova, V., and A. Bahri (2008). Water reuse practices for agriculture, Capítulo 10. in B. Jimenez and T. Asano (eds.), Water Reuse: An International Survey of current practice, issues and needs, IWA Publishing, London.

Lazarova, V., and A. Bahri (2005)a. Water Reuse for Irrigation: Agriculture, Landscapes, and Turf Grass, CRC Press, Boca Raton, Florida, USA.

Le Houérou, H.N. (1992). The role of *Opuntia* cacti in the agricultural development of the Mediterranean arid zones. 2nd Int. Cong. de Tuna y Cochinilla. Santiago, Chile, 22-25 Septiembre, 1992.

Linares O.J.P, Monroy V.A, Melgarejo L.V. (1986). Evaluación de la paja de pasto salado (*Distichlis spicata*), tratado con amonio en la engorda de bovinos. Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.

Mara Duncan y Cairncross S. (1990). Directrices para el uso sin riesgos de aguas residuales y excretas en agricultura y acuicultura: Medidas de protección a la salud pública. OMS-PNUMA. Ginebra, Ch.213 P.

MMAyA (2013). Sistematización sobre tratamiento y reúso de aguas residuales. Editores: PROAGRO, PERIAGUA y el Proyecto "Apoyo en la mejora del reúso y tratamiento de aguas residuales y protección de cuerpos de agua con enfoque de adaptación al cambio climático" llevado a cabo por la Cooperación Triangular México-Bolivia-Alemania. Estado Plurinominal de Bolivia. 337 pp.

MMAyA (2012). Inventario Nacional de Sistemas de Riego, 2012. 1ra. Edición. Viceministerio de Recursos Hídricos y Riego. Estado Plurinominal de Bolivia.29 pp.


McVaugh R. (1983) Gramineae. En W.R. Anderson (ed.) Flora Novo Galiciana. A descriptive account of the vascular plants of Western Mexico". Vol. 14, The University of Michigan Press, Ann Arbor Michigan.

Mellink B.E , Quintanilla A.N. (1979). Valor nutritivo del zacate salado (*Distichlis spicata*. L. Greene), producido en el ex lago de Texcoco. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Chapingo. Texcoco, Edo de México.

Moscoso O.y Romero A M. (2002). Uso de las Aguas Residuales tratadas en Riego. Caso de Estudio de Bolivia. En : Reporte de Investigación No. 5. Centro Andino para la Gestión y Uso del Agua. 36 pp.

Mulvaney, R. L. (1996). Nitrogen Inorganic forms. p. 1123-1184. In D. L. Sparks *et al.*(ed.) Methods of soil analysis. Part 3. SSSA Book Ser. 5. Soil Sci. Soc. Am., Madison, WI.

Murillo Amador B. R. ,López Aguilar J.,L. García-Hernández., A. Nieto Garibay., E. Troyo-Dieguéz., N-Ávila



Serrano., J.L. Espinoza-Villavicencio., R. Ortega-Pérez., A. Palacios-Espinosa.,A. Plascencia Jorquera. (2009). Cultivos alternativos para zonas áridas. En: Ciencia y Tecnología e Innovación para el desarrollo. Biotecnología y Ciencias Agropecuarias. Año 1, Núm.21.

Murillo-Amador, B., E. Troyo-Diéquez, J.L. García-Hernandez, L.Landa-Hernández y J.A. Larrinaga-Mayoral. (2000). El frijol Yorimón Leguminosa tolerante a sequía y salinidad. Programa de Agricultura en Zonas Áridas. Publicación de Transferencia y divulgación No. 2. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. La Paz, B.C.S. México.

Nobel, P.S. (1995). Environmental biology. p.36-48, En: G. Barbera, P. Inglese & E. Pimienta-Barrios (eds) Agro-ecology, cultivation and uses of cactus pear. FAO Plant Production and Protection Paper, 132.

OMM/Premia. (2006). Agroplasticultura y Riego Localizado. Material del curso Agroplasticultura y Riego Localizado. Impartido a técnicos de instituciones y empresas en la región del Acuífero Ojo caliente Aguascalientes-Encarnación. 12-13 de Octubre de 2006. 187 pp.

Orcutt D. M. & Nielsen E. T. (2000). Physiology of Plant Under Stress: Soli and Biotic Factors. Estados Unidos. John Wiley & Sons, Inc. 684 p. ISBN 0-471-03152-6

Orta L.T. (1985). Criterios para el aprovechamiento de aguas residuales en México, México, Tesis de maestría, DEPMI, UNAM, 113 pp.

Palerm-Viqueira J. (2004) Las galerías filtrantes o Qanats en México. Introducción y Tipología de Técnicas. En: Revista Agricultura, Sociedad y Desarrollo. Vol. 1. Número 2. Julio-Diciembre, pág.133-145.

Pereira, L. S., Trout, T, J. (1999). Irrigation methods. IN: H. N., van Lier, L.S., Pereira, F.R., Steiner (eds.) CIGR handbook of agricultural engineering, vol.I: Land and water engineering, ASAE, St. Joseph, MI, USA, pp. 297-379.

PSD-2010-2010. Plan Sectorial de Desarrollo 2010-2020. Hacia la Salud Universal. Unidad de Planificación. Dic-2009. Estado Plurinominal de Bolivia. Ministerio de Salud y Deportes. 98 pp.

Raber, B. y I. Kogel-Knabner. (1995). Desorption of PAH polycyclic aromatic hydrocarbons from soils under the influence of dissolved organic substances. Mitt. Dtsch. Bodenk. Ges. 76: 421-424.

Ramos-Tejo O., Canul Solis JR., Duarte Vera FJ. (2013). Producción de 3 variedades de pennisetum purpureum fertilizadas con dos diferentes fuentes nitrogenadas en Yucatán, México. En: Revista Biociencias 2 (2): p 60-68. ISSN:2007-3380.

Rembio. (2015). Red Mexicana de Bioenergía A.C. Biocombustibles Líquidos. En: www.rembio.org.mx. Consultada el 15 de abril de 2015.

Riasi, A., M. Danesh Mesgaran, M.D. Stern and M.J. Ruiz Moreno. (2008). Chemical composition, in situ ruminal degradability and post-ruminal disappearance of dry matter and crude protein from the halophytic plants *Kochia scoparia*, *Atriplex dimorphostegia*. Suaeda arcuate and *Gamanthus gamacarpus*. Anim. Feed Sci. Technol., 141: 209-219.

Robles R.T, Rodríguez L. S.J, Martínez, S.J. (2005).Desarrollo Vegetativo de Melón (*Cucumis melo L.*), establecido por trasplante, con guiado vertical y acolchado plástico en la Comarca Lagunera. En: Revista Chapingo, Serie Zonas áridas, 2005. 4:15-20.

Robledo F. y L. Martín, (1988). Aplicación de los plásticos a la agricultura. 2da Edición. Madrid, Ed. Mundi-Prensa.



Rhoades, J. D. and S. D. Merrill. (1976). Assessing the suitability of water for irrigation: Theoretical and empirical approaches. In Prognosis of salinity and alkalinity. FAO soils bulletin 31, FAO, Rome, pp. 69-110.

Silva J., Torres P., Madera C. (2008). Reúso de aguas residuales domésticas en agricultura. Una Revisión. En: Agronomía Colombiana 26 (2), 347-359.

Shahba M.A., Quian Y.L. & Lair K.D. (2008). Improving seed germination of saltgrass under saline conditions Crop. Science 48:756-762.

Shual, H.I, Adin A., Fattal, B., Rawitz, E., y Yekutieli, P. Integrated Resource Recovery, Wastewater Irrigation in Developing Countries. Washington D.C. the World Bank, (1986), Technical Paper Núm 51, 325 p.

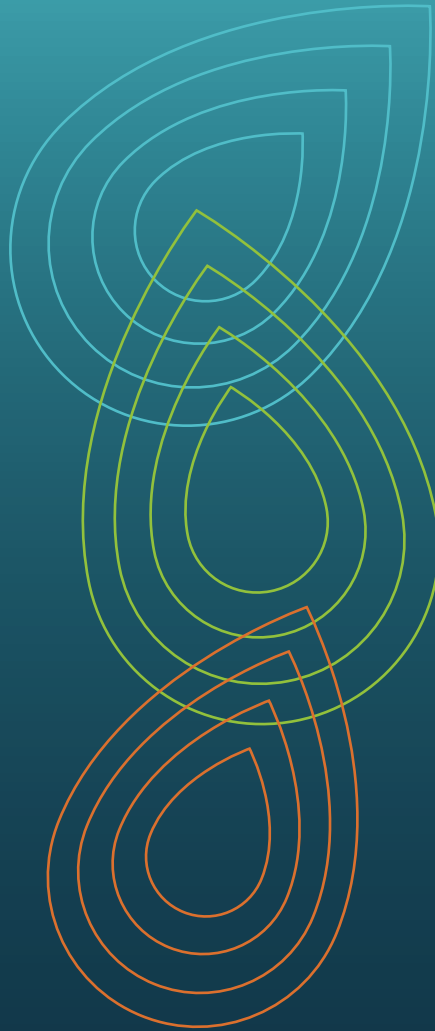
Soto, Y. (2003). Antecedentes de investigaciones en pastos y forrajes. Centro Nacional de Investigaciones Pecuarias (CENIP). Secretaría de Estado de Agricultura. Santo Domingo, DO.

USDA PLANT Database, (2008). Plant Detail: *Distichlis spicata* [On line]. <http://www.evergreen.ca/nativeplants/search/view-plant.php?ID=01368>. [Consultado 14/04/2015].

World Health Organization (2006). Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater. Volume 2: Wastewater use in agriculture. En línea: <http://www.OMS.int>. (Consultado: 14 de febrero, 2015).

World Health Organization. (2006). Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater. Vol 1. Policy and regulatory aspects. Ginebra: OMS; 2006a.

World Health Organization. (2006) Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater. Vol 2. Wastewater use in agriculture. OMS, Ginebra: OMS; 2006b.



MÉXICO

GOBIERNO DE LA REPÚBLICA



Esta Guía fue elaborada con apoyo de la Comisión Nacional del Agua CONAGUA, la Agencia Mexicana de Cooperación Internacional para el Desarrollo, y la Cooperación Alemana al Desarrollo a través de la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH y su Proyecto de Cooperación Triangular México, Bolivia y Alemania.

CONAGUA
COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA

AMEXCID
AGENCIA MEXICANA
DE COOPERACIÓN INTERNACIONAL
PARA EL DESARROLLO


cooperación
alemana
DEUTSCHE ZUSAMMENARBEIT

Implementada por:

giz Deutsche Gesellschaft
für Internationale
Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Proyecto de Cooperación Triangular México -
Bolivia - Alemania, para el Diseño de Aguas
Residuales en Riego Agrícola