



Universidad de Chile



**Gobierno de Chile
Servicio Agrícola y Ganadero
SAG**

CRITERIOS DE CALIDAD DE AGUAS O EFLUENTES TRATADOS PARA USO EN RIEGO

RESUMEN EJECUTIVO

MARZO 2005

**División de Recursos Hídricos y Medio Ambiente
Departamento de Ingeniería Civil
Universidad de Chile**

RESUMEN EJECUTIVO INDICE

1. INTRODUCCION	1
2. CARACTERIZACION DE RECURSOS HIDRICOS PARA USO RIEGO EN CHILE	1
2.1 Caracterización de la Calidad de aguas naturales y ocurrencia natural de metales	1
2.2 Caracterización de Calidad de Aguas Intervenidas	2
2.2.1 Aguas Residuales Domésticas	2
2.2.2 Residuos Industriales Líquidos	3
2.2.3 Efluentes de Producción Pecuaria (Purines)	3
2.2.4 Efluentes de Tranques de Relaves.	3
2.2.5 Efluentes de Tratamiento de Lixiviados de Rellenos Sanitarios	5
2.2.6 Aguas Residuales de la Industria Vitivinícola y Pisquera	6
2.2.7 Aguas Residuales Industria Alimenticia y similares.	7
2.3 TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES Y SU POTENCIAL USO EN RIEGO	7
2.3.1 Consideraciones sobre el tratamiento de aguas residuales	7
2.3.2 Tratamiento de Aguas Residuales en Chile	8
2.3.3 Niveles de Tratamiento Requeridos en las Aguas Residuales para Minimizar Impactos	11
3. REQUERIMIENTOS DE CALIDAD DE AGUA PARA RIEGO	12
3.1 Salinidad	12
3.2 Tasa de infiltración	13
3.3 Toxicidad	13
3.3.1 Iones Sodio (Na), Cloruro (Cl) y Boro (B)	13
3.3.2 Metales	14
3.4 Otros constituyentes	15
3.4.1 Nitrógeno en exceso	15
3.4.2 Bicarbonatos	15
3.4.3 Sulfato	15
3.4.4 pH anormal	15
3.4.5 Magnesio	16
3.4.6 Grasas y Aceites	16
3.4.7 Inestabilidad del agua y formación de depósitos.	16
3.5 Calidad de Aguas y Técnicas de Regadío	16
3.6 Normativas sobre Aguas y Efluentes Tratados Usados en Riego	16
4. EXPERIENCIAS INTERNACIONALES Y NACIONALES SOBRE EL USO EN RIEGO DE AGUAS DE DIVERSA CALIDAD	23
4.1 Experiencias Internacionales	23
4.2 Experiencias Nacionales	24
5. ANTECEDENTES SOBRE PARAMETROS RELEVANTES A LA SITUACION CHILENA	25
6. PROPUESTA DE CRITERIOS DE CALIDAD DE AGUAS O EFLUENTES TRATADOS PARA USO EN RIEGO	25
7. RECOMENDACIONES	30

CRITERIOS DE CALIDAD DE AGUAS O EFLUENTES TRATADOS PARA USO EN RIEGO

RESUMEN EJECUTIVO

1. INTRODUCCION

El estudio Criterios de Calidad de Aguas ó Efluentes Tratados para uso en Riego ha sido realizado en la División de Recursos Hídricos y Medio Ambiente de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile. Este estudio es parte del estudio Criterios de Calidad de Suelos y de Aguas o Efluentes Tratados para uso en Riego, solicitado por el Servicio Agrícola y Ganadero, SAG, a la Universidad de Chile. El tema Criterios de Calidad de Suelos ha sido desarrollada por la Facultad de Ciencias Agronómicas.

El uso en riego (consumo y evapotranspiración) de aguas de baja calidad es una práctica cada vez más frecuente en el mundo. A menudo este tipo de aguas es el único recurso hídrico disponible, por lo que aunque la eficiencia de la cosecha no sea óptima, constituye un valioso retorno económico para quienes la practican. En otros casos, su utilización en agricultura puede solucionar serios problemas de manejo y disposición final, siempre y cuando no impacte negativamente el medio ambiente, la calidad de las cosechas, ni la salud de los trabajadores.

El presente estudio contiene una caracterización de los recursos hídricos, tanto aguas naturales como intervenidas, disponibles para uso en riego; antecedentes generales sobre tratamiento de aguas residuales; descripción básica de los requerimientos de calidad de agua de riego; antecedentes sobre experiencias, tanto internacionales como nacionales, en uso de aguas naturalmente de baja calidad o intervenidas; antecedentes sobre los parámetros de calidad de aguas relevantes al caso chileno; una propuesta de criterios de calidad de aguas para uso en riego y recomendaciones. Dentro de este marco el estudio aporta antecedentes para orientar un proceso regulatorio del uso de aguas de baja calidad en riego que podría abrir interesantes perspectivas económicas al país, al mismo tiempo que proteger el medio ambiente.

2. CARACTERIZACION DE RECURSOS HIDRICOS PARA USO RIEGO EN CHILE

2.1 Caracterización de la Calidad de aguas naturales y ocurrencia natural de metales

De acuerdo a los antecedentes geológicos e hidrológicos del país, de manera general, los flujos de agua subterránea y superficial cortarán unidades geológicas similares en todo el territorio nacional, con distancias relativamente cortas y con gradientes topográficos relativamente altos. Por esta razón, no se asigna un rol de importancia a la litología como elemento contaminante del agua.

Los hipotéticos elementos contaminantes estarán relacionados con las concentraciones, naturalmente anómalas de elementos, que corresponden a yacimientos. El grado de contaminación dependerá también de la cantidad de agua que esté al alcance del contaminante. Se consideran con mayor potencial de riesgo de contaminación por minerales a las regiones de baja precipitación, principalmente entre la I y la V.

La Tabla 1 muestra los elementos potencialmente contaminantes, en función de los yacimientos existentes en las distintas Regiones del país.

Tabla 1
Posibles Compuestos Contaminantes

REGION	POSIBLE MINERAL CONTAMINANTE
I	Al, Bo, Li, Mo, Ag, Ba, Asbest, Sb, Na, U
II	Al, Bo, Li, Mo, Ag, Be, Ba, Sb, Na, U
III	Al, Bo, Li, Mo, Va, Ag, Ba, Sb, Na, U
IV	Mo, Va, Ag, Ba, Asbest., Sb, U
V y METROP	Al, Mo, Ba
VI	Al, Mo, Sb, U
VII	Al, Li, Va, Asbesto
VIII	Al, Ni, Asbesto
IX	Al, Mo, Ni, Asbesto
X	Al, Ni, Asbesto., Sb
XI	Mo, Ag, U
XII	Sb

2.2 Caracterización de Calidad de Aguas Intervenidas

2.2.1 Aguas Residuales Domésticas

La Tabla 2 muestra un resumen de las características típicas de aguas servidas según su clasificación en agua débil, media o fuerte.

Tabla 2
Características Aguas Servidas Domésticas

Parámetro	Unidad	Débil	Media	Fuerte
Sólidos Totales	mg/l	350	720	1200
Sólidos Disueltos	mg/l	250	500	850
Fijos	mg/l	145	300	525
Volátiles	mg/l	105	200	325
Sólidos Suspendidos	mg/l	100	220	350
Fijos	mg/l	20	55	75
Volátiles	mg/l	80	165	275
Sólidos Sedimentables	ml/l	5	10	20
DBO ₅	mg/l	110	220	400
DQO	mg/l	250	500	1000
COT	mg/l	80	160	290
Nitrógeno Total	mg/l	20	40	85
N-orgánico	mg/l	8	15	35
N-amoniacal	mg/l	12	25	50
N-NO ₂	mg/l	--	--	--
N-NO ₃	mg/l	--	--	--
Fósforo Total	mg/l	4	8	15
P orgánico	mg/l	1	3	5
P inorgánico	mg/l	3	5	10
Cloruros	mg/l	30	50	100
Sulfatos	mg/l	20	30	50
Alcalinidad	mg/l	50	100	200
Aceites y Grasas	mg/l	50	100	150
Comp. Org. Volátiles	µg/l	<100	100-400	>400
Coliformes fecales	NMP/100ml	10 ⁶ - 10 ⁷	10 ⁷ - 10 ⁸	10 ⁷ - 10 ⁹

Fuente : Metcalf & Eddy, 1990.

Cabe destacar que en Chile, aún cuando las aguas son clasificadas como medias a fuertes en la mayoría de los casos, en general, esto sólo se refiere a su composición en términos de DBO₅ y SST .

Para efectos de reuso en riego los parámetros que interesan son aquellos de tipo inorgánico, principalmente, que podrían afectar el crecimiento de las plantas o la permeabilidad del suelo. Estas sustancias inorgánicas disueltas no experimentan una modificación significativa durante el tratamiento de las aguas servidas y por lo tanto es esperable que las concentraciones sean similares a las del agua potable más los incrementos que ocurren debido al uso doméstico de éstas. En la Tabla 3 se indican los incrementos esperados en algunos parámetros respecto a los valores en el agua potable.

Tabla 3
Incrementos típicos de la concentración de minerales
debido a los usos domésticos del agua

Parámetro	Incremento, mg/l
Aniones	
Bicarbonato (HCO_3)	50 – 100
Carbonato (CO_3)	0 – 10
Cloruro (Cl)	25 – 50
Nitrato (NO_3)	20 – 40
Fosfato (PO_4)	5 – 15
Sulfato (SO_4)	15 - 30
Cationes	
Calcio (Ca)	6 – 16
Magnesio (Mg)	4 – 10
Potasio (K)	7 – 15
Sodio (Na)	40 - 70
Otros Componentes	
Sílice (SiO_2)	2 – 10
Alcalinidad total (CaCO_3)	60 – 120
Sólidos Disueltos Totales (SDT)	150 – 380
Aluminio (Al)	0.1 – 0.2
Boro (B)	0.1 – 0.4
Hierro (Fe)	0.2 – 0.4
Manganeso (Mn)	0.2 – 0.4

Fuente: Metcalf & Eddy, 1990.

2.2.2 Residuos Industriales Líquidos

La calidad de los residuos industriales líquidos, en general, es ampliamente variable no sólo durante el día, sino también dentro de industrias del mismo rubro. La Tabla 4 muestra los rangos de variación de calidad que reporta la literatura internacional.

2.2.3 Efluentes de Producción Pecuaria (Purines)

Estudios realizados en Chile indican que en promedio, los efluentes están entre 5 y 20 l/cabeza/d. La composición promedio, en base a muestreos en distintos planteles, se muestra en la Tabla 5.

2.2.4 Efluentes de Tranques de Relaves.

Las Tablas 6 y 7 muestran información de rangos de concentraciones en aguas claras de relave de la minería del cobre.

Tabla 4
Algunos Parámetros de Interés en Residuos Industriales Líquidos

Industrias	DBO, mg/l	SST, mg/l	Nitrógeno Orgánico, mg/l
Conservas Vegetales	90 – 3.000	200 – 2.300	
Conservas frutas	240 – 1.600	185 – 640	
Cítricos	80 – 950	25 – 140	
Lácteos	1.890	560	73
Cárneos	520 – 32.000	220 – 15.210	33 – 5.400
Pescados	42 – 112.500	2.500 – 66.400	
Cervecería	750 – 1.000	800 – 1.000	13 - 24
Textiles			
Algodón	300 – 800	30 – 100	
Rayón	960 – 2.800	1.040 – 7.250*	
Nylon	90 – 1.360	320 – 2.280*	

Tabla 5
Composición de Purines en Planteles Chilenos

Componente	Concentración ⁽¹⁾	Concentración ⁽²⁾
PH	6,5	6,4
Conductividad Específica, mmohs/cm	11.050	--
NO ₃ -N, mg/l	60	--
NH ₄ -N, mg/l	1.446	560
N total, mg/l	--	1.190
DBO, mg/l	13.000	17.680
SST, mg/l	28.682	9.180
SDT, mg/l	4.890	--
Fosfato, mg/l	--	680

(1) Purines crudos, Tapia (2004)

(2) Purines post prensa, Rebolledo (2003)

Tabla 6
Concentraciones de calidad de aguas de relave

	EC (mmhos/cm)	Ca [meq/l]	Mg [meq/l]	Na [meq/l]	RAS
Rango	591 - 796	4,84 – 5,99	<0,01 – 0,07	0,70 – 0,87	0,36 – 0,50
Promedio	712	5,42	0,04	0,78	0,43

Fuente: CICA Ingenieros Consultores. 1999. Uso potencial de Aguas Claras de Relaves en el sector silviagícola Estación experimental Ovejera. CODELCO Chile División Andina.

Tabla 7
Concentraciones de calidad de aguas de relave

	Cl ⁻ [meq/l]	SO ₄ ²⁻ [meq/l]	HCO ₃ ³⁻ [meq/l]
Rango	0,23 – 0,39	4,33 – 6,00	0,34 – 0,70
Promedio	0,31	5,17	0,52

Fuente: CICA Ingenieros Consultores. 1999. Uso potencial de Aguas Claras de Relaves en el sector silviagícola Estación experimental Ovejera. CODELCO Chile División Andina.

2.2.5 Efluentes de Tratamiento de Lixiviados de Rellenos Sanitarios

La Tabla 8 muestra antecedentes internacionales sobre rango de valores para algunos parámetros de calidad de lixiviados.

Tabla 8
Rango de Concentración de Diferentes Parámetros en Lixiviado de Relleno Sanitario

PARAMETRO	RANGO	UNIDADES
TSD	584 – 55,000	mg/L
CE	480 – 72,500	μmho/cm
TSS	2 – 140,900	mg/L
DBO5	ND – 195,000	mg/L
DQO	6.6 – 99,000	mg/L
COT	ND – 40,000	mg/L
pH	3.7 – 8.9	
AlcalinidadTotal	ND – 15,050	mg/L
Dureza	0.1 – 225,000	mg/L
Cloruro, Cl	2 – 11,375	mg/L
Calcio, Ca	3 – 2,500	mg/L
Sodio, Na	12 – 6,100	mg/L
Nitrógeno Total Kjeldahl, NTK	2 – 3,320	mg/L
Fierro, Fe	ND – 4,000	mg/L
Potasio, K	ND – 3,200	mg/L
Magnesio, Mg	4 – 780	mg/L
Amoniaco, NH4	ND – 1,200	mg/L
Sulfato, SO4	ND – 1,850	mg/L
Aluminio, Al	ND – 85	mg/L
Zinc, Zn	ND – 731	mg/L
Manganeso, Mn	ND – 400	mg/L
Fósforo Total, P	ND – 234	mg/L
Boro, B	0.87 – 13	mg/L
Bario, Ba	ND – 12.5	mg/L
Níquel, Ni	ND – 7.5	mg/L
Nitrato, NO3	ND – 250	mg/L
Plomo, Pb	ND – 14.2	mg/L
Cromo, Cr	ND – 5.6	mg/L
Antimonio, An	ND – 3.19	mg/L
Cobre, Cu	ND – 9.0	mg/L
Talio, Ta	ND – 0.78	mg/L
Cianuro, CN	ND – 6	mg/L
Arsénico, As	ND – 70.2	mg/L
Molibdeno, Mo	0.01 – 1.43	mg/L
Estaño, Sn	ND – 0.16	mg/L
Nitrito, NO2	ND – 1.46	mg/L
Selenio, Se	ND – 1.85	mg/L
Cadmio, Cd	ND – 0.4	mg/L
Plata, Ag	ND – 1.96	mg/L
Berilio, Be	ND – 0.36	mg/L
Mercurio, Hg	ND – 3.0	mg/L
Turbiedad	40 - 500	UT

La Tabla 9 muestra un caso particular de lixiviados obtenidos en dos rellenos sanitarios ubicados en Santiago.

Tabla 9
Análisis Químico de los Lixiviados de Rellenos Sanitarios Chilenos

Parámetros	Unidades	Santa Marta		KDM	
Ácido Acético	g/L	n.d.	-	-	-
Ácido Butírico	g/L	ad.	-	-	-
Ácido Caproíco	g/L	12.7	-	-	-
Ácido Propiónico	g/L	n.d.	-	-	-
Ácido Valérico	g/L	n.d.	-	-	-
Alcalinidad Total	mg/L CaCO ₃	14,650	14,150	20,250	11,700
Amoniaco	mg/LN- NH ₃	8,526	1,397	876	-
Cadmio	mg/L Cd	< 0.01	< 0.005	< 0.005	< 0.005
Cloruros	mg/L Cl	4,292	4,094	2,209	2,084
Cobre	mg/LCu	0.19	0.45	0.27	0.16
Conductividad	μS/cm	27,700	25,400	20,400	21,200
DBO ₅	mg/L	11,800	34,000	44,500	48,000
DQO	mg/L	71,250	47,550	57,450	53,800
Dureza Total	mg/L CaCO ₃	16,800	10,282	9,973	10,940
Fósforo	mg/LP	65.9	35.4	56.7	48.6
Hierro	mg/L Fe	7.75	660	270	266
Manganeso	mg/LMn	5.15	43	56.3	63.2
Nitratos	mg/L N - NO ₃	16.4	5.3	4.44	0.15
Nitritos	mg/LN- NO ₂	<0.01	0.5	< 0.01	< 0.01
Nitrógeno Kjeldahl	mg/L N	17,500	2,391	1,568	980
pH		6.54	7.72	5.91	5.94
Plomo	mg/LPb	<0.03	<0.03	< 0.03	< 0.03
Sólidos Disueltos Fijos	g/L	21.0	12.8	5.5	7.7
Sólidos Disueltos Totales	g/L	24.4	16.9	15.0	1.6
Sólidos Totales	g/L	44.8	35.7	37.0	38.9
Sólidos Totales Fijos	g/L	22.8	17.0	17.7	20.3
Sulfatos	mg/L SO ₄	1391	971	1,076	1202
Zinc	mg/LZn	1.44	10.5	4.81	1.39

2.2.6 Aguas Residuales de la Industria Vitivinícola y Píscueta

En la Tabla 10 se presenta información nacional sobre las principales características físico-químicas.

Tabla 10
Caracterización de Aguas Residuales de la Industria Pisquera

Tipo de agua residual	DBO₅	PH	DQO	Sólidos Totales	Sólidos Sedimentables
Agua de lavado	4000-15000	4.3		4000-10000	80-250
Vinaza	22000	3.1	40300	105	<0.1
Alcoholaza	1050	4.4	1950	33	<0.1

Fuente: Adaptado de DIA Planta Pisco Elqui - Pisco Control

2.2.7 Aguas Residuales Industria Alimenticia y similares.

Se considera que estas aguas residuales son las con mayor potencial de uso en riego por su alto contenido de nutrientes. La Tabla 11 muestra estas características.

Tabla 11
Caracterización de Aguas Residuales de la Industria Alimenticia

RIL	Constituyentes contaminantes	N mg/l	P mg/l	K mg/l
Destilería	Alcalis, ácidos, soda, compuestos de cloro	25	1	20
Cervecería/maltería	Levaduras, carbohidratos, sólidos sedimentables	40	5	50
Procesamiento pescado	Grasas, aceites, ácidos orgánicos, sal	500	---	---
Puré de papas	Ninguno	550	140	95
Conservas	Sales, ácidos orgánicos, detergentes, sustancias corrosivas	60	10	35
Lacteos	desinfectantes	35	10	20

2.3 TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES Y SU POTENCIAL USO EN RIEGO

2.3.1 Consideraciones sobre el tratamiento de aguas residuales

Aun cuando el riego con aguas servidas constituye una forma efectiva de tratamiento, es necesario proveer algún tipo de tratamiento antes de utilizar estas aguas en la agricultura. A objeto de proteger la salud pública; prevenir condiciones molestas durante el almacenamiento y aplicación; y prevenir el daño a los cultivos y suelos.

El tratamiento generalmente aplicado a las aguas servidas, consiste en una combinación de procesos físicos, químicos y biológicos para remover especialmente sólidos suspendidos, materia orgánica y microorganismos patógenos. Los procesos frecuentemente usados incluyen tratamiento preliminar, primario, secundario y algunas veces, tratamiento terciario o avanzado. La desinfección se utiliza como etapa final para la inactivación de microorganismos patógenos.

Los procesos avanzados, entre los que se incluye remoción de nutrientes, procesos de membrana para la remoción de compuestos inorgánicos disueltos o procesos de adsorción u oxidación para la remoción de sabor y olores, se aplican en casos en que los requerimientos de calidad en el efluente son más estrictos. En Chile, a excepción de la remoción de nutrientes en algunas plantas, no se aplican procesos avanzados en las aguas servidas domésticas.

En la Tabla 12 se resume la calidad del efluente obtenida en distintos procesos y en la Tabla 13 la evolución de la calidad del efluente dependiendo de las distintas etapas de tratamiento.

Tabla 12
Procesos de Tratamiento de Aguas Residuales y Contenido de Contaminantes en Efluentes

PROCESO TRATAMIENTO	CONTENIDO DE CONTAMINACION EN EFLUENTES			
	Orgánico	Nutrientes N y P	Patógenos	Metales y Orgánico Traza
Primario	Alto	Alto	Alto	Alto
Primario Avanzado	Medio	Medio	Medio	Medio
Secundario LA	Bajo	Medio	Medio	Medio
Tratamiento Terciario: Afluente ha sido sometido a tratamiento secundario previo				
Remoción Nutrientes	Bajo	Bajo	Medio	Medio
Procesos Membrana	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
Procesos Químicos	Bajo	Bajo	Medio	Medio
Desinfección			Bajo	

Tabla 13
Evolución de los Contaminantes en las Etapas de Tratamiento

Etapas	DBO mg/l	SST mg/l	N mg/l	P mg/l
Aguas Servidas Crudas	250	220	50	10
Efluente Tratamiento Primario	180	100	45	9
Efluente Tratamiento Secundario Convencional o Intensivo	30	30	40	9
Remoción Nutrientes (aplicado en Conjunto o después tratamiento Secundario convencional)	20	20	10	1
Efluente Tratamiento Secundario No Convencional o Extensivo	60	80+	45	9

2.3.2 Tratamiento de Aguas Residuales en Chile

i) Aguas Servidas Domésticas.

La Tabla 14 muestra un resumen con la situación de tratamiento en el país y el volumen de aguas servidas tratadas que estaría disponible anualmente para ser utilizado en riego. En las Regiones I, II, IV y V, una gran parte de las aguas servidas son eliminadas al mar mediante emisarios submarinos, de modo que no sería posible su reuso. En la zona sur, debido a sus características, tampoco se requeriría reutilizar aguas tratadas, de modo que en estricto rigor, el volumen disponible sería del orden de un 65% del indicado (aprox. 300.000.000 m³/año), correspondiendo en la región metropolitana a un caudal del orden de 6,6 m³/s. Las tecnologías de tratamiento que se utilizan actualmente, en el país, para el tratamiento de las aguas servidas se indican en la Tabla 15.

Tabla 14
Tratamiento de Aguas Servidas en Chile

Región	Población Habitantes	Dotación l/hab/d	Número PTAS	Cobertura %	Volumen AS m3/año
I	415,247	158.9	4	96.1%	18,515,551
II	465,104	156.7	5	98.9%	21,047,388
III	245,514	154.6	4	77.5%	8,589,548
IV	520,116	150.0	21	95.2%	21,687,589
V	1,430,500	170.8	26	77.6%	55,363,087
RM			14		209,915,097
A. Andinas	5,561,081	199.3		64.2%	207,770,746
A. Cordillera	433,095	374.6		0.0%	0
A. Manquehue *	17,801	889.1		46.4%	2,144,351
Los Domínicos	15,653	778.3		0.0%	0
SMAPA *	618,446	212.1		98.4%	37,689,502
Servicomunal	71,882	191.1		88.5%	3,549,825
VI - VIII	2,145,702	158.3	43	75.4%	74,783,282
VII	633,809	149.4	14	34.5%	9,539,178
IX	594,516	146.3	15	12.9%	3,276,276
X ESSAL	538,585	148.3	17	50.7%	11,824,593
X A. Décima	131,758	153.8	1	92.2%	5,455,658
XI	69,343	159.5	5	71.4%	2,305,921
XII	14,986	179.1	1	10.6%	83,075
Total	13,923,138		170		483,625,569

* Las empresas A. Manquehue y SMAPA tratan sus aguas servidas a través de las instalaciones de Aguas Andinas.

Tabla 15
Tecnologías de Tratamiento de Aguas Servidas utilizadas en Chile

Tipo de Tratamiento	Número de Plantas	Cumple D.S. 90
Emisario Submarino	22	No, descarga mar
Lodos Activados Convencionales	16	Siempre
Lodos Activados Aireación	62	Siempre
Extendida	42	No Siempre (DBO, SST, N, P)
Lagunas Aireadas	23	Generalmente No (DBO, SST, N, P)
Lagunas Estabilización	2	Si
Biofiltros	3	No
Otros		

Parámetros en paréntesis corresponden a aquellos que pueden incumplir la Norma.

Las plantas de lodos activados (convencionales y aireación extendida) tratan las aguas residuales de un 60% de la población servida y a seguran además, la mejor calidad de efluente. Sin embargo es más común que los efluentes de lagunas aireadas y lagunas de estabilización sean utilizados en actividades de riego, dado que estos sistemas se utilizan en zonas más rurales y por lo tanto cerca del punto de uso. Los otros efluentes se utilizan en forma indirecta dado que al descargar a cuerpos superficiales, son mezclados con aguas naturales y posteriormente utilizados para el riego de predios agrícolas.

ii) Aguas Residuales Industriales

De acuerdo al catastro realizado por la Superintendencia de Servicios Sanitarios, el año 1996 se contabilizaron del orden de 2.500 industrias a nivel nacional, de las cuales unas 1.780 se consideraban generadoras de residuos industriales líquidos. Un 65% de las industrias generadoras está conectada al alcantarillado, en tanto el 35% restante elimina sus efluentes a algún cuerpo receptor (Tabla 16)

Tabla 16
Destino de las Descargas de RILes

Cuerpo Receptor	Industrias, %
Alcantarillado	65.7
Ríos	6.7
Lagos	0.3
Mar	6.8
Canales Riego	2.9
Suelo	14.4
Otros	3.2

Cabe destacar que las industrias que descargan al sistema de alcantarillado, descargan finalmente a un cuerpo receptor, el que en general puede ser un río o el mar. Es interesante considerar que algunas industrias descargan a canales de riego y un alto porcentaje lo hace al suelo, generalmente en operaciones de riego.

En la Tabla 17 se resume el universo total de industrias que posee un sistema de tratamiento autorizado por la Autoridad Competente.

Tabla 17
Industrias con Sistema de Tratamiento Autorizado

Región	Alcantarillado	Curso Superficial	Suelo	Riego	Tratamiento Tercerizado	Otros	Total
I	1	0	0	0	0	0	1
II	3	0	0	0	0	0	3
III	0	0	0	0	0	0	0
IV	2	1	0	1	0	0	4
V	9	12	2	7	0	0	30
VI	2	8	0	12	0	0	22
VII	5	9	0	4	0	0	18
VIII	14	15	3	1	1	0	34
IX	3	3	0	0	0	0	6
X	11	30	7	2	0	0	50
XI	3	6	1	0	0	0	10
XII	4	2	2	0	0	0	8
RM	132	34	8	27	1	3	205
Total	189	120	23	54	2	3	391

De acuerdo a la Tabla 17 aproximadamente un 30% de las instalaciones industriales que no descargan al alcantarillado tiene tratamiento autorizado y de este porcentaje un 40% descarga al suelo o a sistemas de riego. La mayoría de la industrias que descarga al suelo (a través de riego o directamente a suelo desnudo) corresponde a actividades agropecuarias, industria

vitivinícola, industrias pesqueras y alimentos. De este modo existe, actualmente, en el país, uso de aguas residuales industriales en riego directo (o infiltración) que se practica en forma autorizada.

2.3.3 Niveles de Tratamiento Requeridos en las Aguas Residuales para Minimizar Impactos

El reciclaje de aguas tratadas requiere de medidas efectivas para proteger la salud pública y el medio ambiente. Los riesgos resultantes son función de los métodos de aplicación y condiciones locales. La Tabla 18 muestra los niveles de tratamiento requeridos en función del tipo de cultivo.

Tabla 18
Requerimientos de Calidad para Reuso de Efluentes Tratados en Riego

USOS	Remoción DBO y DQO	Remoción Nutrientes	Remoción Patógenos	Remoción Metales y Orgánicos traza	Cloro residual desinfección	Remoción SST y turbiedad	Remoción Sabor y Olor	Remoción Salinidad
Riego Forestal	X	--	X	X	--	X	X	O
Riego Cultivos Restringidos	X	--	X	X	--	X	X	O
Riego Cultivos Limitados	XX	--	XX	XX	XX	XX	X	X
Riego todos los Cultivos y Productos	XXX	--	XXX	XXX	XXX	XXX	XX	X
Recarga Acuíferos	XXX	XXX	XXX	XXXX	XX	XXX	XXX	--
No es necesario								
O No es esencial								
X Necesidad Leve								
XX Necesidad Moderada								
XXX Fuerte Necesidad								
XXXX Requerimiento Estricto								

Aun cuando la mayor experiencia en riego con aguas residuales se refiere al uso de aguas servidas domésticas, es necesario reconocer que existen variados efluentes industriales que representan una importante fuente de aguas para riego, especialmente en el caso de industrias procesadoras de alimentos, donde el volumen y las características de las aguas residuales posibilitan su reuso. En la Tabla 19 se resume las características de las aguas residuales de algunas industrias procesadoras de alimentos, así como también los niveles de tratamiento necesarios de ser aplicados.

Tabla 19
Industrias de Alimentos, Características de sus Aguas y Tratamiento para Reuso

Industria	Contaminantes	Pre-tratamiento	N (mg/L)	P (mg/L)	K (mg/L)
Destilerías	Ácidos y álcalis, soda, compuestos clorados	Tratamiento secundario, neutralización	25	1	20
Cervecerías	Levaduras, carbohidratos, sólidos sedimentables	Tratamiento secundario, neutralización	40	5	50
Procesado pescados	Grasa, aceites, ácidos orgánicos, escamas, sales	Tratamiento secundario, separación de grasas, desinfección, desodorización	500	--	--
Conservas	Sal, ácidos orgánicos, detergentes	Tratamiento secundario, neutralización, desodorización	60	10	35
Lácteos	Ácidos orgánicos, desinfectantes	Tratamiento secundario	35	10	20
Azúcar	Materia orgánica, Sólidos	Tratamiento secundario	50	10	--
Proc. Papas		Tratamiento secundario	550	140	95
Almidón		Tratamiento secundario, neutralización	300	45	415

3. REQUERIMIENTOS DE CALIDAD DE AGUA PARA RIEGO

La calidad físico-química del agua de riego está determinada no sólo por la cantidad total de sales presentes en el agua sino también por el tipo de sales, las que pueden permanecer en el suelo una vez que el agua se evapora o pueden ser captadas por los cultivos. Los problemas derivados del uso en riego de aguas de baja calidad pueden ser modificados por suelo, clima y cosecha, al igual que por la experiencia y conocimiento del usuario del agua.

Como resultado de esto algunos organismos internacionales, expertos en el tema agrícola, recomiendan no establecer límites a los constituyentes del agua; más bien recomiendan evaluar su conveniencia de uso en base a las condiciones de uso del agua que podrían incidir en la acumulación de los constituyentes del agua y las que pueden restringir el rendimiento de la cosecha. La calidad del agua de riego debe evaluarse en función de la severidad de los problemas que producirá su uso prolongado en el tiempo.

En el caso del agua de riego los principales problemas en suelos derivados de una calidad deficiente son: salinidad, disminución de tasa de infiltración y toxicidad por iones específicos. Otros problemas que también se consideran en la evaluación de calidad del agua de riego son los producidos por un exceso de nutrientes, bicarbonato, sulfato, pH anormal, magnesio, grasas y aceites, inestabilidad del agua y formación de depósitos (dureza del agua). Todos estos problemas se asocian a parámetros de calidad de agua que son fácilmente cuantificables.

3.1 Salinidad

Contribuyen a este problema las sales solubles y fácilmente transportadas por el agua. El problema se produce cuando las sales se acumulan en la zona de la raíz. Una salinidad excesiva del agua de riego afecta negativamente los cultivos, reduciendo la disponibilidad del agua-suelo, disminuyendo el crecimiento y restringiendo el desarrollo de las raíces. En aguas de alta salinidad, la toxicidad del Na y Cl se hacen evidentes.

El riego con agua de alta salinidad requiere grandes volúmenes de agua extra para lixiviación, lo que conduce a problemas de drenaje, que deben ser enfrentados con buenas prácticas de manejo agrícola. Los parámetros que permiten evaluar un potencial problema de salinidad son la conductividad específica (CE) y los sólidos disueltos totales (SDT). La Tabla 20 muestra información sobre restricción de uso de aguas para riego en función de los dos constituyentes anteriores.

Tabla 20
Restricción de Uso de Aguas para Riego según CE y SDT

Parámetro	Unidad	Grado de restricción en uso		
		ninguno	Débil a moderado	severo
CE	ds/m	< 0.7	0.7 – 3.0	> 3.0
SDT	mg/l	< 450	450 – 2000	> 2000

Las aguas de riego que contienen una proporción alta de sales débilmente solubles como calcio, bicarbonato y sulfato, pueden formar depósitos blancos en hojas y frutas cuando se usa aspersores para el riego. Aunque este depósito no involucra toxicidad, muchas veces limita la comercialización. Estos depósitos también pueden obstruir los aspersores, por lo que puede ser necesario cambiar a una forma alternativa de riego.

3.2 Tasa de infiltración

Se considera que el agua de riego genera un problema de infiltración cuando la tasa de infiltración normal del agua se reduce significativamente y el agua permanece en la superficie del suelo mucho tiempo o infiltra demasiado lento para abastecer al vegetal, provocando permanentes inundaciones que pueden extenderse mas allá de los límites del predio y por lo tanto generar un impacto ambiental rural. Además de la calidad del agua inciden en este problema algunos factores relacionados con el suelo. Cuando los suelos se inundan temporalmente debido a la reducida tasa de infiltración, si no se tiene buena aeración, mucho del NNO_3 presente puede ser rápidamente denitrificado y perdido desde el suelo a la atmósfera como N_2 gas.

Una reducción severa en la tasa de infiltración, debido a la calidad del agua, se puede relacionar con aguas de muy baja salinidad o con alta razón de adsorción de sodio (RAS). Información sobre la restricción de uso de agua debido a reducción de la tasa de infiltración se presenta en la Tabla 21.

Tabla 21
Restricción de Uso de Aguas para Riego según SAR y CE

Parámetro			Grado de restricción en uso		
			Ninguno	Débil a moderado	Severo
SAR	0 - 3	CE (ds/m)	> 0.7	0.7 – 0.2	< 0.2
	3 - 6		> 1.2	1.2 – 0.3	< 0.3
	6 – 12		> 1.9	1.9 – 0.5	< 0.5
	12 – 20		> 2.9	2.9 – 1.3	< 1.3
	20 - 40		> 5.0	5.0 – 2.9	< 2.9

3.3 Toxicidad

Los problemas de toxicidad se producen si ciertos constituyentes (iones) del agua son captados por la planta y acumulados hasta alcanzar concentraciones lo suficientemente altas para producir daño a las cosechas o reducción de rendimientos. El grado de daño dependerá de la duración de la exposición, creciente acción del ión tóxico, sensibilidad de la cosecha y volumen del agua transpirada por el vegetal.

3.3.1 Iones Sodio (Na), Cloruro (Cl) y Boro (B)

El Na no sólo puede afectar la estructura del suelo sino también tener efectos tóxicos en las plantas. Se pueden desarrollar condiciones muy desfavorables cuando la concentración de Na excede la de Ca + Mg

La toxicidad por cloruro es muy común en agua de riego. El cloruro no es absorbido por el suelo, por lo que se moviliza con la solución de suelo, es captado por plantas y se acumula en hojas. Si su concentración en las hojas excede la tolerancia del cultivo, se desarrollarán sistemas de daño hasta quemar la hoja, efecto que en algunos cultivos limita su comercialización. La toxicidad por cloruro puede ocurrir también por absorción directa por las hojas cuando se riega por aspersión. El boro, a diferencia del sodio, es un elemento esencial para el crecimiento de las plantas, pero si está presente en cantidades significativamente mayores que las requeridas se transforma en tóxico. La toxicidad del boro puede afectar a casi

todos los cultivos, pero al igual que la salinidad hay un amplio rango de tolerancia entre cultivos. En Tabla 22 se muestran valores para estos iones .

Tabla 22
Restricción de Uso de Aguas para Riego según Toxicidad por Iones Específicos

Parámetro	Unidades	Grado de restricción de uso		
		ninguno	Débil a moderado	Severo
SODIO(Na)				
Riego superficial	SAR	< 3	3 – 9	> 9
Riego aspersión	me/l	< 3	> 3	
CLORURO(Cl)				
Riego superficial	me/l	< 4	4 – 10	> 10
Riego aspersión	me/l	< 3	> 3	
BORO(B)	mg/l	< 0.7	0.7 – 3.0	> 3.0

3.3.2 Metales

En la actualidad existe poca experiencia documentada que permita fijar normas o límites máximos sobre la concentración de metales en agua de riego. Recientemente, los resultados de investigaciones sobre disposición en suelo de aguas residuales han mostrado que la mayoría de los elementos traza se fijan y acumulan rápidamente en suelos y como este proceso es casi irreversible, aplicaciones repetidas de iones metálicos por sobre las concentraciones requeridas por las plantas, contaminan el suelo y pueden llegar a hacerlo improductivo o a las cosechas inutilizables.

Estudios recientes sobre uso de aguas servidas en riego muestran que mas del 85% de los elementos traza (metales pesados) aplicados se acumulan en el suelo y la mayoría se acumula en los primeros centímetros superficiales. Aunque las plantas captan elementos trazas, la captación es, normalmente, tan pequeña que no se puede esperar que esto sólo reduzca significativamente los elementos traza en el suelo en un período de tiempo razonable.

Respecto a metales, la literatura especializada señala algunas particularidades que se destacan a continuación:

- Solamente los metales asociados con la fracción soluble y adsorbidos son los que estarán realmente, disponibles para que las plantas los capturen.
- La acumulación de metales en las plantas depende de su solubilidad, de su forma química y de su facilidad para ser absorbidos. La absorción es favorecida por la acidez del agua en la interfase planta-suelo.
- La movilidad del metal y por lo tanto su captura y toxicidad a plantas está fuertemente influenciada por la presencia en suelos de óxidos de Fe y Al . Algunas veces, el factor más importante en la captura de metales por la planta es el Fe.
- En algunos casos un aumento de pH del suelo, por adición de cal, puede aumentar la solubilidad de los metales, pero esto no siempre se traducirá en aumento de la captura de metales por la planta, porque el metal solubilizado puede estar en una especie no disponible para la planta.
- La movilidad y disponibilidad del metal también puede ser influenciada por la textura del suelo.

- En el transporte de metales puede influir, a veces, la adición de surfactantes a los pesticidas y herbicidas.
- La movilidad y disponibilidad de metales se reduce en suelos con matrices orgánicas y fosfatadas por aumento en su capacidad de adsorción y por lo tanto los problemas de toxicidad disminuyen.
- Los mecanismos que afectan la movilidad y disponibilidad de los metales son adsorción/desorción, precipitación/disolución y formación de complejos.
- El pH es el principal factor que influencia la adsorción de metales en óxidos e hidróxidos del suelo.
- La movilidad, disponibilidad y toxicidad de metales en suelos puede estar fuertemente afectada por presencia de iones competitivos.
- El riesgo potencial de metales pesados en suelos, con respecto a su movilidad y significado ecotoxicológico, está determinado por su partición sólido-solución mas que por el contenido de metales totales.

3.4 Otros constituyentes

3.4.1 Nitrógeno en exceso

El N presente en el agua de riego tiene el mismo efecto que el N fertilizante aplicado al suelo y un exceso causará los mismo problemas que un exceso de fertilizante, es decir, sobreestimulación de crecimiento, retraso en maduración y deterioro en calidad del vegetal. Cuando la presencia de N en aguas es significativa, se recomienda que se considere como parte integral del programa de fertilización

La sensibilidad de los cultivos al exceso de N en agua de riego, varía con la etapa del crecimiento. Altos niveles de N pueden resultar beneficiosos en las primeras etapas, pero causar problemas en etapas posteriores de floración y frutas, esto hace necesario un programa de manejo que contemple el uso de aguas con diferentes niveles de N según etapa de crecimiento.

3.4.2 Bicarbonatos

Durante épocas calurosas y secas la presencia de altas concentraciones de bicarbonatos en agua de riego, puede producir y hacer visibles manchas blancas, en las hojas, por depósito de carbonatos durante la evaporación. El bicarbonato en exceso, aunque no se considera un ión tóxico, en general, puede producir deficiencia en Zn.

3.4.3 Sulfato

El ión sulfato no produce efectos específicos en suelos y plantas, sin embargo, contribuye a aumentar la salinidad de la solución de suelo.

3.4.4 pH anormal

Un agua de riego con un pH fuera del rango considerando normal (6.5–8.4) puede producir un desbalance nutricional o contener un ión tóxico. Algunas veces las aguas con baja salinidad (CE < 0.2 dS/m) tienen pH anormal por su baja capacidad amortiguadora. Un agua de estas características, normalmente, causará pocos problemas en suelos o cosecha pero es muy corrosiva, por lo que puede impactar significativamente los equipos de riego.

3.4.5 Magnesio

El Magnesio puede jugar un rol muy importante en los efectos del Na y Ca.

3.4.6 Grasas y Aceites

La presencia de aceites y grasas en el agua de riego impacta directamente al suelo, al producir un recubrimiento de los agregados del suelo, los que desarrollarán fenómenos hidrofóbicos que resultan en disminución de la capacidad de infiltración y almacenaje de agua para las plantas. La presencia de aceites y grasas en el agua de riego también puede producir una disminución de la capacidad de intercambio catiónico incidiendo en la fertilidad del suelo. Otro efecto que puede producirse es el desarrollo de fenómenos de anoxia radicular y bacteriana al impedirse el intercambio gaseoso entre el suelo y atmósfera.

3.4.7 Inestabilidad del agua y formación de depósitos.

Un agua es inestable cuando presenta tendencia a depositar sales o disolver los materiales con los cuales entra en contacto. El agua de riego que contiene una alta proporción de sales débilmente solubles como calcio, bicarbonato y sulfato puede presentar problemas de formación de depósitos de sales blancas en hojas y plantas cuando se usa en riego por aspersión. Aunque esto no constituye toxicidad, los depósitos pueden constituir un problema para la comercialización de los vegetales.

3.5 Calidad de Aguas y Técnicas de Regadío

La calidad del agua de riego tiene un rol importante en la selección de la técnica de regadío. Las técnicas de riego superficial se pueden utilizar con aguas de baja calidad, mientras que el riego tecnificado por aspersión o goteo, requiere efluentes de alta calidad debido al riesgo de taponamiento del sistema de regadío por los sólidos suspendidos en el agua.

El método de riego afecta directamente tanto la eficiencia del uso de agua como la acumulación de sales. Las sales se mueven con el agua a los sectores donde el agua se evapora más rápidamente y son lixiviadas a mayores profundidades a medida que el agua drena por gravedad.

3.6 Normativas sobre Aguas y Efluentes Tratados Usados en Riego

En términos generales no existen normativas nacionales o internacionales que se refieran, específicamente, al tema de uso de efluentes industriales en actividades agrícolas, con la excepción de las aguas resultantes del tratamiento de aguas residuales domésticas. La gran mayoría de los países cuya legislación ha sido revisada se enfoca a definir guías o requerimientos mínimos para el agua de riego, haciendo hincapié en determinados parámetros que pueden ser asociados a residuos líquidos de determinadas actividades industriales. Se revisaron documentos de: Canadá (1999); Australia y Nueva Zelandia (2000); Sudafrica (1996); Estados Unidos (2004); FAO (1984) y Chile (D.S. 609, D.S. 90 y Nch 1333). Las Tablas 23 a 28 muestran un resumen de estos antecedentes.

Tabla 23

Cuadro Comparativo y Proposición de Criterios

Metales

Constituyentes	Guía Australiana y Neozelandesa		SOUTH AFRICAN WATER QUALITY GUIDELINES	BRITISH COLUMBIA WATER QUALITY GUIDELINES	CANADIAN ENVIRONMENTAL WATER QUALITY	US ENVIRONMENT PROTECTION AGENCY		FAO	NCh 1333 of 78	Guía CONAMA N.C.A. Aguas Continentales	Proposición U. de Chile 2005	Comentarios	OBS.
	Largo Plazo (100 años)	Corto Plazo (20 Años)				Largo Plazo (100 años)	Corto Plazo (20 Años)						
Aluminio [mg/l Al]	5	20	5	5	5	5	20	5	5	5	5	Riego continuo por sobre 20 años, cultivos sensibles al aluminio o suelos acidificados.	
											20	Suelos neutros a alcalinos de textura fina, cultivos poco sensibles al aluminio y Riego continuo menor de 20 años.	
Arsénico [mg/l As]	0.1	2	0,1	0,1	0,1	0.1	2	0.1	0.1	0.1	0.1	Cualquier suelo en periodo de riego continuo superior a 20 años.	
											2	Riego por un periodo inferior a 20 años, suelos neutros a alcalinos y cultivos que no son de raíces.	
Cobalto [mg/l Co]	0.05	0.1	0,05	0,05	0,05	0.05	5	0.05	-	-	0.05	No se recomienda un rango debido a la poca evidencia existente en la literatura sobre toxicidad del Cobalto.	
Cobre Total [mg/l Cu]	0.2	5	0,2	0,2	0,2 --1,0	0.2	5	0.2	0.2	1	0.2	Este valor protegerá a las plantas sin importar la frecuencia de riego, ni el tipo de suelo, ni el tipo de cultivo.	
											5	Recomendado para riego de corto plazo, en suelos neutro a alcalinos de textura fina y cultivos que no sean de raíces.	
Mercurio [mg/l Hg]	0.002	0.002	-	0,002	-	-	-	-	0.001	0.001	0.002	Con esta concentración, se asegura que los niveles de mercurio en los tejidos de las plantas serán adecuados, sin importar la frecuencia de riego, ni el tipo de cultivo. Valor es muy conservador porque la acumulación de mercurio puede resultar letal para el consumo humano y animal.	
Molibdeno [mg/l Mo]	0.01	0.05	0,01	0,01	0,01 -- 0,05	0.01	0.05	0.01	0.01	0.5	0.01	Suelos pobremente drenados usados para cultivos de forraje con tasa de Cu:Mo< 2:1	1
											0.02	Suelos bien drenados usados para cultivo de forraje o suelos pobremente drenados usados para cultivo de forraje con tasa de Cu:Mo>2:1	
											0.05	Riego de Cultivos No Forrajeros	
Plomo [mg/l Pb]	-	-	0,2	0,2	0,2	5	10	5	5	5	0.2	Este valor es seguro para cualquier tipo de suelo, cultivo y frecuencia de riego.	
											5	Valor recomendado para riego de corto plazo y ciertos tipos de suelos.	
Zinc [mg/l Zn]	2	5	1	1	1 -- 5	2	10	2	2	5	1	Para suelos con pH < 6.	2
											2	Para un suelo con pH entre 6 y 7	
											5	Para un suelo cuyo pH sea 7	

1. Ver Tabla 29

2. Ver Tabla 30

Tabla 24

Cuadro Comparativo y Proposición de Criterios

Nutrientes en Aguas de Riego

Constituyentes	Guía Australiana y Neozelandesa		SOUTH AFRICAN WATER QUALITY GUIDELINES	BRITISH COLUMBIA WATER QUALITY GUIDELINES	CANADIAN ENVIRONMENTAL WATER QUALITY	US ENVIRONMENT PROTECTION AGENCY		FAO	NCh 1333 of 78	Guía CONAMA N.C.A. Aguas Continentales Clase 3	Proposición U. de Chile 2005	Comentarios	OBS.
	Largo Plazo (100 años)	Corto Plazo (20 Años)				Largo Plazo (100 años)	Corto Plazo (20 Años)						
Fósforo Total [mg/l P]	0.05	0,8 -- 12	-	-	-	-	-	-	-	***	0.05	Se recomienda para riego sin ninguna restricción. El límite está dado para evitar producción de algas en los equipos de riego.	
											12	Para riego por cortos periodos de tiempo.	
Nitrógeno Total [mg/l N]	5	25 -- 125	5*	100/10**	-	-	-	5 -- 30	-	***	25	Se recomienda para todo tipo de cultivos.	
											125	Con restricciones al tipo de suelos y periodos de irrigación. Para periodos breves, el límite podría ser mayor.	

* Como Nitrógeno Kjeldhal

**Se refiere a concentraciones de Nitrato y Nitrito respectivamente, medidos como N

*** Guía CONAMA incluye solo nitrito para aguas continentales superficiales y N y P, en forma específica, para cuerpos lacustres.

Tabla 25

Cuadro Comparativo y Proposición de Criterios

Orgánicos en Aguas de Riego

Constituyentes	Guía Australiana y Neozelandesa		SOUTH AFRICAN WATER QUALITY GUIDELINES	BRITISH COLUMBIA WATER QUALITY GUIDELINES	CANADIAN ENVIRONMENTAL WATER QUALITY	US ENVIRONMENT PROTECTION AGENCY		FAO	NCh 1333 of 78	Guía CONAMA N.C.A. Aguas Continentales Clase 3	Proposición U. de Chile 2005	Comentarios	OBS
	Largo Plazo (100 años)	Corto Plazo (20 Años)				Largo Plazo (100 años)	Corto Plazo (20 Años)						
Aceites y Grasas [mg/l A y G]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10	5 -- 10	Florida (USA) y Taiwán proponen un valor de 5 mg/l para riego. Este valor puede ser mayor si se utilizan prácticas de manejo de suelos especiales, con un máximo de 10 mg/l.	
DBO ₅ [mgO ₂ /l DBO ₅]	600*		-	-	-	30 -- 1120		-	-	20	20	Se recomienda para cultivos de consumo crudo.	
											200	Se recomienda para riego con restricción (Turquía y Argentina proponen un valor de 200 mg/l. China propone entre 80 y 150 mg/l)	
											600	Riego con generación de olores.	
Detergentes [mg/l]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.5	0.5	Sólo Florida(USA) propone un valor de 0,5 mg/l	
Indice de Fenol [mg/l Fenoles]	-	-	-	-	0.002	-	-	-	-	0.01	0.01	Brasil propone 0,001 mg/l Florida(USA) 4,6 mg/l Irán 1 mg/l Canadá 3,9 mg/l	

* Criterio establecido por el "Act Enviromet amd Health Wastewater Reuse Guidelines" de Australia

Tabla 26
Cuadro Comparativo y Proposición de Criterios
Inorgánicos no Metálicos en Aguas de Riego

Constituyentes	Guía Australiana y Neozelandesa		SOUTH AFRICAN WATER QUALITY GUIDELINES	BRITISH COLUMBIA WATER QUALITY GUIDELINES	CANADIAN ENVIRONMENTAL WATER QUALITY	US ENVIRONMENT PROTECTION AGENCY		FAO	NCh 1333 of 78	Guía CONAMA N.C.A. Aguas Continentales	Proposición U. de Chile 2005	Comentarios	OBS.
	Largo Plazo (100 años)	Corto Plazo (20 Años)				Largo Plazo (100 años)	Corto Plazo (20 Años)						
Boro [mg/l B]	0.5	*	0,5	0,5	0,5 -- 6,0	0.75	2	0,7 -- 3	0.75	0.75	0.5	Utilizar para cualquier cultivo	3
											0,5 -- 1,0	Cultivos muy sensibles	
											1,0 -- 2,0	Cultivos sensibles	
											2,0 -- 4,0	Moderadamente Sensibles	
											4,0 -- 6,0	Moderadamente Tolerantes	
											6,0 -- 15,0	Muy Tolerantes	
Cloruros [mg/l Cl ⁻]	-	-	100	100	100 -- 700	-	-	-	200	200	100	Límite recomendado para cultivos sensibles.	4
											350	Recomendado para cultivos tolerantes.	
											700	Recomendado para cultivos muy tolerantes y riego por cortos periodos de tiempo.	
Sulfatos [mg/l SO ₄ ⁻²]	-	-	-	--	-	-	-	-	250	1000	500	Se recomienda un valor de 500 mg/l para asegurar la posibilidad de riego irrestricto.	5
											1000 -- 1500	Requiere Prácticas de manejo Cuidadosas	
											2000 -- 2500	Cultivos tolerantes en suelos permeables con métodos de manejo cuidadosos.	

* Depende de la sensibilidad del cultivo.

3. Ver Tabla 31 y 32

4. Ver Tabla 33

5. Ver Tabla 34 y 35

Tabla 27

**Cuadro Comparativo y Proposición de Criterios
Parámetros Globales de Calidad de Aguas de Riego**

Constituyentes	Guía Australiana y Neozelandesa		SOUTH AFRICAN WATER QUALITY GUIDELINES	BRITISH COLUMBIA WATER QUALITY GUIDELINES	CANADIAN ENVIRONMENTAL WATER QUALITY	US ENVIRONMENT PROTECTION AGENCY		FAO	NCh 1333 of 78	Guía CONAMA N.C.A. Aguas Continentales	Proposición U. de Chile 2005	Comentarios	OBS.
	Largo Plazo (100 años)	Corto Plazo (20 Años)				Largo Plazo (100 años)	Corto Plazo (20 Años)			Clase 3			
pH	-	-	6,5 - 8,4	4,5 - 9,0	-	6		6,5 -- 8	-	6,5 -- 8,5	6 -- 8,5	Recomendado para producción intensiva de horticultura	
											4.5 -- 9	Todo tipo de Cultivos	
Turbiedad [NTU]	-	-	-	50	-	-	-	-	-	-	DTU = 10	Cuando la turbiedad base es < 50 NTU.	
											DTU = 20% TU ₀	Cuando la turbiedad base es > 50 NTU	
Sólidos Disueltos Totales [mg/l SDT]	-	-	-	3500	-	500 -- 2000		450 -- 2000	-	1500	450	Sin restricción de uso.	6
											450 -- 2000	Restricción débil a moderada.	
											>2000	Restricción moderada a severa.	
Sólidos Suspendidos Totales [mg/l SST]	-	-	50	20	-	-	-	50 -- 100	-	80	<50	Para todo tipo de cultivos y sin problemas de obstrucción de equipos de riego.	7
											50 -- 100	Problemas a moderados en obstrucción de equipos de riego.	
											>100	Problemas graves de obstrucción de equipos de riego.	

6. Ver Tabla 36

7. Ver Tabla 37

Tabla 28

**Cuadro Comparativo y Proposición de Criterios
Dureza en Aguas de Riego**

Constituyentes	Guía Australiana y Neozelandesa		SOUTH AFRICAN WATER QUALITY GUIDELINES	BRITISH COLUMBIA WATER QUALITY GUIDELINES	CANADIAN ENVIRONMENTAL WATER QUALITY	US ENVIRONMENT PROTECTION AGENCY		FAO	NCh 1333 of 78	Guía CONAMA N.C.A. Aguas Continental Clase 3	Proposición U. de Chile 2005	Comentarios	OBS.
	Largo Plazo (100 años)	Corto Plazo (20 Años)				Largo Plazo (100 años)	Corto Plazo (20 Años)						
Dureza, Incrustación/Corrosión, [Índice de Langelier]	-	-	-0,2 -- +0,2	-	-	-	-	-	-	-	-0,2 -- +0,2	Con estos valores se protegen los equipos de riego, tanto de corrosión, como de la formación de incrustaciones. También protege la calidad estética de la fruta. Valores fuera del rango no presenta problemas a la salud de la población ni a los suelos.	

4. EXPERIENCIAS INTERNACIONALES Y NACIONALES SOBRE EL USO EN RIEGO DE AGUAS DE DIVERSA CALIDAD

4.1 Experiencias Internacionales

i) Aguas con Alta Salinidad

Resultados señalan que la tolerancia de los cultivos a la salinidad excesiva del agua no se ve afectada por el método de riego mientras se produzca suficiente “lixiviación” para controlar la salinidad. Resultados señalan que los patrones de cultivos han debido ser cambiados periódicamente a causa del deterioro del suelo.

ii) Aguas con Baja Salinidad

Los resultados muestran que el uso en riego de un agua de muy baja salinidad (derretimiento de nieves) produce severos problemas de infiltración del agua en suelos.

iii) Aguas con Alto Bicarbonato

El bicarbonato produce depósitos blanco en hojas y obstrucción en equipos de riego. Una medida de mitigación del problema, es la adición de ácido (sulfúrico, fosfórico o nítrico) para reducir el pH.

iv) Aguas con Alto Contenido de Boro

Experiencia muestra que esta agua se pueden usar sin problemas, en riego de pastos de golf, porque el corte frecuente, aparentemente, reduce el daño por acumulación de boro. Algunas coníferas, por el contrario, experimentan daño en sus hojas.

v) Aguas con Alto Contenido de Sulfatos

Prácticas de manejo adecuadas permiten rendimientos satisfactorios.

vi) Aguas con Alto Contenido de Carbonato de Calcio

La experiencia muestra que al ser el carbonato de calcio de baja solubilidad contribuye poco a la salinidad del suelo. No obstante, se pueden producir algunos problemas en la infraestructura de riego por obstrucción de los aspersores.

vii) Aguas Residuales Domésticas Tratadas

Experiencia indica que agricultores deben aplicar poco o nada de fertilizantes químicos suplementarios dado el contenido de N del agua residual tratada. Los agricultores no han experimentado problemas de salud asociados a la calidad del agua utilizada. Agricultores estiman que el agua les provee 2/3 de los nutrientes fertilizantes requeridos por sus cultivos.

En el tratamiento se produce una disminución importante de la concentración de metales (As, Zn, Fe, Pb, Cu, Mn, Hg) asociada a procesos de adsorción, partición y sedimentación de los sólidos suspendidos y del fitoplancton.

viii) Alto Contenido de Sólidos Suspendedos

El alto contenido de sedimento suspendido en el agua de riego produce una reducción de la permeabilidad del suelo, problemas en germinación de semillas, obstrucción de aspersores y deterioro de bombas.

ix) Aguas con Elementos Metálicos Traza

Los suelos permiten adecuada movilidad de los metales no nutrientes (Al, Cd, Co, Cr, Ni, Pb y V.), lixiviando los elementos que podrían ser nocivos para las plantas o para el ser humano y, por lo tanto, pueden ser considerados aptos para el cultivo.

4.2 Experiencias Nacionales

La experiencia nacional sobre usos de aguas de baja calidad en riego es bastante variada, destacando principalmente la gran experiencia en el uso de aguas residuales de origen doméstico en riego de hortalizas en la Región Metropolitana, el uso de aguas con altos contenidos de salinidad, boro y arsénico en la zona norte y el uso de aguas claras de relaves. Recientemente se han conocido algunas experiencias preliminares o declaraciones de intención, de uso de aguas de baja calidad en riego de cultivos específicos, a través de algunos estudios de EIA de importantes proyectos mineros (relaves) y de disposición de residuos líquidos (industrias alimenticias, líquidos percolados).

i) Aguas Residuales Crudas

El uso en riego de aguas residuales crudas, es decir, sin tratamiento previo, como fue el caso del uso de las aguas del Zanjón de la Aguada en riego de hortalizas consumidas por la población de Santiago, originó al país un gran problema sanitario por la gran incidencia de enfermedades gastrointestinales que esta práctica generó. El agua rica también en N, P y otros nutrientes ha constituido un excelente fertilizante, cuyos excesos han alcanzado también el nivel freático, contaminando con nitrato las fuentes de agua subterránea de la zona.

A pesar de haberse regado, por 30 o más años, suelos de tipo arenoso-limo-arcilloso, no se observó en los cultivos estudiados (apio, acelga, lechuga) síntomas de fitotoxicidad que, según la literatura se producen cuando las concentraciones de Cu y Cr excede los límites recomendados. Esto podría deberse a que los metales en el agua estarían en un estado de combinación no asimilable por las plantas.

ii) Aguas con Arsénico

Los resultados de los estudios realizados muestran una correlación significativa entre contenido de As en agua de riego y en vegetales cultivados y que la concentración total de arsénico inorgánico en raíces y hojas en vegetales comestibles es más alto que en los frutos.

iii) Aguas Residuales de Actividad Minera

Los resultados muestran que los suelos regados, con aguas claras de relave, incrementaron sus contenidos de molibdeno, sulfato, calcio y conductividad específica. El molibdeno se inmoviliza en los primeros horizontes y una vez que éstos se saturan, lixivia hacia los horizontes más profundos. Los sistemas vegetales presentaron selectividad en la absorción de los metales, los cuales se distribuyen dentro del vegetal según el rol que cumplen a nivel fisiológico. Se

recomienda no regar especies de la familia Fabacea (alfalfa, habas, porotos verdes) por su significativa afinidad con el molibdeno.

iv) Aguas residuales de crianza masiva de cerdos.

Existen algunas experiencias de aplicación directa de purines en suelos, pero falta un estudio mas sistematizado que considere los impactos en el agua subterránea que esta práctica ha tenido así como los serios problemas de deterioro de calidad de vida (olores, vectores , patógenos) experimentados por la población vecina.

5. ANTECEDENTES SOBRE PARAMETROS RELEVANTES A LA SITUACION CHILENA

Se han identificado como parámetros relevantes respecto al potencial uso en riego de aguas o afluentes tratados algunos constituyentes del agua cuya ocurrencia se fundamenta, principalmente, en las características geológicas, el tipo de actividades económicas desarrolladas y la situación demográfica del país.

Los parámetros más relevantes corresponden a metales pesados y metaloides, sulfatos y boro; materias orgánicas como grasas y aceites; nutrientes (excesos de N); dureza y sólidos suspendidos y turbiedad. Algunos de estos parámetros como pH, sólidos suspendidos, y dureza interesan, especialmente, al regante porque inciden en el diseño y operación de los sistemas de riego localizados (por goteo). La dureza además, si es del tipo carbonatada puede producir depósito de sales en hojas y frutas lo que puede limitar la comercialización de los cultivos. Los otros parámetros, en general, resultan de interés por su influencia en el rendimiento y calidad de cultivos y uso sustentable del suelo.

La remoción del agua de muchos de estos contaminantes, para el uso en riego del agua puede, en muchos casos, resultar compleja y de alto costo por lo que se deberán adoptar buenas prácticas de manejo o evaluar la posibilidad de sustitución de cultivos.

6. PROPUESTA DE CRITERIOS DE CALIDAD DE AGUAS O EFLUENTES TRATADOS PARA USO EN RIEGO

La proposición de criterios está basada, principalmente, en los antecedentes internacionales revisados. En las Tablas 23 a 28 se entrega un estudio comparativo de los criterios encontrados en la literatura internacional y la propuesta del grupo consultor para cada uno de los parámetros de interés en calidad de agua de riego. Las Tablas 29 a 37 aportan los antecedentes que fundamentan las proposiciones.

Tabla 29
Límites Recomendados de Molibdeno aplicables en aguas de riego.

Concentración de Mo	Aplicación
0,01 mg/L promedio* 0,05 mg/L máximo*	Suelos pobremente drenados usados para cultivos de forraje con tasa de Cu/Mo <2:1 en aguas de riego
0,02 mg/L promedio* 0,05 mg/L máximo*	Suelos bien drenados usados para cultivos de forraje o, suelos pobremente drenados usados para cultivos de forraje con tasa de Cu/Mo ≥2:1 en aguas de riego
0,03 mg/L promedio*	Riego de cultivos no forrajeros

* valores máximo y promedio aplicados durante la temporada de riego, con valores promedio que son calculados de muestras recogidas a un mínimo de una vez por semana por cinco semanas en un período no mayor a 30 días.

Fuente: BRITISH COLUMBIA WATER QUALITY GUIDELINES

Tabla 30
Efectos del Zinc en Rendimiento de Cultivos y la Sustentabilidad del Suelo.

Rango de Concentración (mg/L)	Rendimiento del Cultivo y Sustentabilidad del Suelo
Rango de calidad de aguas objetivo < 1,0	Tóxico para muchas plantas a una concentración de 1 mg/L y menos en soluciones de nutrientes. El rango de calidad de aguas objetivo debería proteger a la mayoría de las plantas desde concentraciones tóxicas de zinc absorbidas incluso cuando crecen sobre suelos arenosos ácidos.
1,0 – 5,0	Concentración máxima aceptable para suelos neutros a alcalinos de textura fina.
> 5,0	Aceptable para riego sólo en cortos tiempos en base a un sitio específico.

Fuente: SOUTH AFRICAN WATER QUALITY GUIDELINES

Tabla 31
Rangos de Tolerancia o Sensibilidad al Boro de Cultivos Agrícolas

Tolerancia	Concentración de Boro en Agua de Riego (mg/l)	Cultivo Agrícola
Muy Sensible	< 0,5	Mora
Sensible	0,5 – 1,0	Durazno, cereza, ciruela, uva, cebolla, ajo, camote, trigo, cebada, girasol, frutillas, alcachofa, porotos
Sensible Moderadamente	1,0 – 2,0	Pimienta roja, arveja, zanahoria, rábano, papa, pepino
Tolerante Moderadamente	2,0 – 4,0	Lechuga, repollo, apio, avena, maíz, alcachofa, tabaco, trébol, calabaza
Tolerante	4,0 – 6,0	Tomate, alfalfa, perejil, betarraga, remolacha
Muy Tolerante	6,0 – 15,0	Espárragos

Fuente: BRITISH COLUMBIA WATER QUALITY GUIDELINES

Tabla 32
Efectos del Boro en Cultivos.

Rango de Concentración (mg/L B)	Síntomas de daño en cultivos
< 0,5	Debería prevenir la acumulación de boro a niveles tóxicos (a través del consumo por la raíz) salvo en las plantas más sensibles.
0,5 – 1,0	Cultivos muy sensibles al boro acumulan niveles tóxicos (a través del consumo por la raíz). Ellos empiezan a mostrar síntomas de daños en las hojas y/o disminución de rendimiento.
1,0 – 2,0	Cultivos sensibles al boro acumulan niveles tóxicos (a través del consumo por la raíz). Ellos empiezan a mostrar síntomas de daños en las hojas y/o disminución de rendimiento.
2,0 – 4,0	Cultivos moderadamente sensibles al boro acumulan niveles tóxicos (a través del consumo por la raíz). Ellos empiezan a mostrar síntomas de daños en las hojas y/o disminución de rendimiento.
4,0 – 6,0	Cultivos moderadamente tolerantes al boro acumulan niveles tóxicos (a través del consumo por la raíz). Ellos empiezan a mostrar síntomas de daños en las hojas y/o disminución de rendimiento.
6,0 – 15,0	Cultivos tolerantes al boro acumulan niveles tóxicos (a través del consumo por la raíz). Ellos empiezan a mostrar síntomas de daños en las hojas y/o disminución de rendimiento.
> 15,0	Cultivos muy tolerantes al boro acumulan niveles tóxicos (a través del consumo por la raíz). Ellos empiezan a mostrar síntomas de daños en las hojas y/o disminución de rendimiento.

Fuente: SOUTH AFRICAN WATER QUALITY GUIDELINES

Tabla 33
Efectos del Cloruro en Rendimiento y Calidad de Cultivos.

Rango de Concentración (mg/L Cl)	Rendimiento y Calidad del Cultivo
< 100	Debería prevenir la acumulación de cloruro a niveles tóxicos salvo en las plantas más sensibles, incluso cuando el cloruro consumido es a través de la absorción de la hoja, esto es el follaje del cultivo es mojado.
< 140	Debería prevenir la acumulación de cloruro a niveles tóxicos salvo en las plantas más sensibles, cuando el cloruro consumido es a través de la absorción por las raíces, esto es el agua es aplicada a la superficie del suelo por lo tanto se excluye la humedad del follaje del cultivo.
140 – 175	Sólo problemas leves con la acumulación de cloruro a niveles tóxicos a los cultivos pueden ser esperados cuando el cloruro consumido es a través de la absorción de las raíces, esto es el agua es aplicada a la superficie del suelo por lo tanto se excluye la humedad del follaje del cultivo.
100 – 175	Los cultivos sensibles a la absorción de la hoja acumulan niveles tóxicos de cloruro cuando su follaje es humedecido. Ellos muestran daños en la hoja y disminución del rendimiento.
175 - 350	<p>Algunos problemas con la acumulación de cloruro a niveles tóxicos a cultivos moderadamente sensibles pueden ser esperados cuando el consumo de cloruro es a través de absorción de la raíz, esto es, el agua es aplicada a la superficie del suelo por lo tanto se excluye la humedad del follaje del cultivo.</p> <p>Los cultivos moderadamente sensibles a la absorción de la hoja acumulan niveles tóxicos de cloruro cuando su follaje es humedecido. Ellos muestran síntomas de daños en la hoja y disminución del rendimiento.</p>
350 – 700	<p>Todos los cultivos moderadamente sensibles y cultivos más moderadamente tolerantes acumulan cloruro a niveles tóxicos para los cultivos cuando el cloruro consumido es a través de absorción por la raíz, esto es, el agua es aplicada a la superficie del suelo por lo tanto se excluye la humedad del follaje del cultivo.</p> <p>Los cultivos moderadamente tolerantes a la absorción de la hoja acumulan niveles tóxicos de cloruro cuando su follaje es humedecido. Ellos muestran síntomas de daños en la hoja y disminución del rendimiento.</p>
> 700	<p>Problemas crecientes con la acumulación de cloruro a niveles tóxicos para los cultivos pueden ser esperados cuando el consumo de cloruro es a través de la absorción por la raíz, esto es, el agua es aplicada a la superficie del suelo por lo tanto se excluye la humedad del follaje del cultivo.</p> <p>Los cultivos tolerantes a la absorción de la hoja acumulan niveles tóxicos crecientes de cloruro cuando su follaje es humedecido. Ellos muestran síntomas de daños en la hoja y disminución del rendimiento.</p>

Fuente: SOUTH AFRICAN WATER QUALITY GUIDELINES

Tabla 34
Restricción de Uso de Aguas para Riego según CE y SDT

Parámetro	Unidad	Grado de restricción en uso		
		ninguno	Débil a moderado	Severo
CE	ds/m	< 0.7	0.7 – 3.0	> 3.0
SDT	mg/l	< 450	450 – 2000	> 2000

Tabla 35
Relación Sulfato y Conductividad Eléctrica en Aguas

Concentración Sulfato (mg/l)	Conductividad Eléctrica mmhos/cm
500 – 800	770 – 1.200
800 – 1.000	1.200 – 1.500
1.000 – 1.500	1.500 – 2.300
1.500 – 2.000	2.300 – 3.100
2.000 – 2.500	3.100 – 4.000

Tabla 36
Guía para Calidad del Agua para Uso en Riego : Sólidos Disueltos Totales

Concentración de SDT [mg/l]	Grado de Restricción en el Uso.
450	Sin restricción de uso.
450 -- 2000	Restricción débil a moderada.
>2000	Restricción moderada a severa.

Fuente: Wastewater quality guidelines for agricultural use. FAO irrigation and drainage paper 47.

Tabla 37
Efectos de Sólidos Suspendedos en Emisores de Riego.

Rango de Concentración (mg/L SST)	Efecto sobre Emisores de Riego
< 50	Prácticamente no hay problemas con la obstrucción de emisores de riego por goteo.
50 – 100	Problemas leves a moderados con la obstrucción de los emisores de riego por goteo.
> 100	Problemas graves en aumento con la obstrucción de los emisores de riego por goteo.

Fuente: SOUTH AFRICAN WATER QUALITY GUIDELINES

7. RECOMENDACIONES

Dado que gran parte de la fundamentación de los criterios propuestos se basa en información internacional, se recomienda iniciar un programa de investigación propio, especialmente, respecto a los constituyentes de las aguas y afluentes tratados cuya utilización se considere de mayor interés para el desarrollo social y económico del país.

Una instancia posible para concretar esta necesidad de estudio y conocimiento sería aprovechar el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental a que se deben someter muchos de los Proyectos relacionados con este tema, exigiéndoles en la Resolución de Calidad Ambiental (RCA) la realización de estudios al respecto y la divulgación de éstos al medio externo a objeto de que sus resultados contribuyan, realmente, a constituir la fundamentación de los criterios sobre calidad de aguas o afluentes tratados para uso en riego en Chile.