

Víctor Miyashiro Kiyán
Leonor Méndez Quincho
Lucía Orihuela de Campos

GESTIÓN DEL AGUA EN EL PERÚ: USO, PROTECCIÓN Y TRATAMIENTO



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

DR. JESÚS ABEL MEJÍA MARCACUZCO
Rector

DR. JORGE LUIS ALIAGA GUTIÉRREZ
Vicerrector Académico

MG.SC. EFRAÍN DONALD MALPARTIDA INOUYE
Vicerrector de Investigación

DR. JOSÉ CARLOS VILCAPOMA
Jefe del Fondo Editorial

Víctor Miyashiro Kiyán / Leonor Méndez Quincho / Lucía Orihuela de Campos
GESTIÓN DEL AGUA EN EL PERÚ: USO, PROTECCIÓN Y TRATAMIENTO
Lima: Fondo Editorial - UNALM. 2014; 144 p.

© Víctor Miyashiro Kiyán
Leonor Méndez Quincho
Lucía Orihuela de Campos
© Universidad Nacional Agraria La Molina
Av La Universidad s/n La Molina

Derechos reservados
ISBN : N° 978-612-4147-24-1
Hecho el Depósito Legal en la Biblioteca Nacional del Perú :
Registro : N° 2014-08702

Primera Edición: mayo del 2014 - Tiraje: 500 ejemplares
Impreso en Perú – Printed in Peru

Coordinación editorial:
José Carlos Vilcapoma

Diseño y diagramación de carátula:
Roxana Perales Flores

Diseño, diagramación e impresión :
Q y P Impresores S.R.L.
Av. Ignacio Merino 1546 Lince
E-mail: qypimpresores2005@yahoo.com

Queda terminantemente prohibida por la Ley del Perú la reproducción total o parcial de esta obra por cualquier medio, ya sea electrónico, mecánico, químico, óptico, incluyendo sistema de fotocopiado, sin autorización escrita de la Universidad Nacional Agraria La Molina y los Autores.
Todos los conceptos expresados en la presente obra son responsabilidad de los autores.

*A Dios por su infinito amor y bondad.
A nuestras familias, profesores y alumnos.
A la Universidad Nacional Agraria
La Molina por brindarnos la oportunidad
de contribuir en el desarrollo y gestión
de las aguas en el Perú.*

CONTENIDO

Presentación	13
Prólogo	15
CAPÍTULO I	
EL AGUA DULCE, UN RECURSO ESCASO	17
1.1. El contexto internacional	17
1.1.1. En el mundo	17
1.1.2. En Europa	18
1.1.3. En América Latina y el Caribe	19
1.2. El contexto nacional	19
1.2.1. Disponibilidad del agua	20
1.2.2. El uso del agua	22
CAPÍTULO II	
MARCO LEGAL RELACIONADO AL USO, PROTECCIÓN Y TRATAMIENTO DEL AGUA	25
2.1. El uso del agua	26
2.1.1. Clases de uso del agua	27
2.1.2. Derechos de uso del agua	27
2.1.3. Prioridad para el otorgamiento en el uso del agua	28
2.2. La protección del agua y el tratamiento de las aguas residuales	28
2.2.1. El vertimiento de las aguas residuales en el cuerpo natural de agua o para reúso	28
2.2.2. Vigilancia, supervisión y fiscalización	29
2.3. Descarga de aguas residuales en el alcantarillado sanitario	29
2.4. Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para el agua (ECA-Agua)	30
2.4.1. Categoría 1. Poblacional y recreacional	31
2.4.2. Categoría 2. Actividades marino costeras	32
2.4.3. Categoría 3. Riego de vegetales (D1) y bebida de animales (D2)	33
2.5. Límites máximos permisibles (LMP) y valores máximos admisibles (VMA) sectoriales	38
2.5.1. Límites máximos permisibles	38
2.5.2. Valores máximos admisibles	42

2.6. Fiscalización del cumplimiento de los límites máximos permisibles y estándares de calidad del agua	44
---	----

CAPÍTULO III

SALUD Y AMBIENTE	47
3.1. Salud pública y ambiental	47
3.2. Sustancias químicas con potencial riesgo carcinogénico	49
3.3. Presencia de arsénico en sangre y orina de seres humanos	50
3.3.1. Concepto de rango (valor) de referencia	50
3.3.2. Empleo del rango de referencia o valores límite en el estudio de metales en orina	51
3.3.3. Niveles de valores límite en muestras biológicas de humanos	51

CAPÍTULO IV

CONCEPTOS TEÓRICOS DE LOS PARÁMETROS DEL ECA PARA AGUA	53
4.1. Parámetros fisicoquímicos de calidad del agua	55
4.1.1. Conductividad eléctrica	55
4.1.2. Potencial de hidrógeno (pH)	55
4.1.3. Oxígeno disuelto (OD)	55
4.1.4. Temperatura	55
4.1.5. Color	55
4.1.6. Olor	55
4.1.7. Turbiedad	56
4.1.8. Sólidos disueltos totales	56
4.1.9. Sólidos suspendidos totales	56
4.1.10. Bicarbonato	56
4.1.11. Carbonatos	56
4.1.12. Calcio	56
4.1.13. Dureza	57
4.1.14. Sodio	57
4.1.15. Cloruros	57
4.1.16. Magnesio total	57
4.1.17. Sulfatos	58
4.1.18. Fluoruros	58
4.1.19. Cianuro (CN ⁻)	58
4.1.20. Cianuro libre	59
4.1.21. Cianuro <i>WAD</i>	59
4.1.22. Clorofila A (C ₅₅ H ₇₂ O ₅ N ₄ Mg)	59
4.1.23. Silicatos (Si-SiO ₃)	59
4.1.24. Sulfuro de hidrógeno (H ₂ S) – CAS 7783-06-4	59
4.2. Parámetros inorgánicos – trazas de metales	60
4.2.1. Aluminio – CAS 7429-90-5	60
4.2.2. Antimonio - CAS 7440-36-0	61
4.2.3. Arsénico – CAS 7440-38-2	61
4.2.4. Bario – CAS 7440-39-3	62
4.2.5. Berilio – CAS 7440 – 41 -7	62
4.2.6. Boro – CAS 7440-42-8	63
4.2.7. Cadmio – CAS 7440-43-9	63

4.2.8.	Cobalto – CAS 7440-48-4	64
4.2.9.	Cobre – CAS 7440-50-8	64
4.2.10.	Cromo – CAS 7440-47-3	65
4.2.11.	Cromo (VI) – CAS 1333-82-0	65
4.2.12.	Hierro	66
4.2.13.	Litio	66
4.2.14.	Manganeso – CAS 7439-96-5	67
4.2.15.	Mercurio – CAS 7439-97-6	67
4.2.16.	Níquel – CAS 7440-02-0	68
4.2.17.	Plata – CAS 7440-22-4	69
4.2.18.	Plomo - CAS 7439-92-1	69
4.2.19.	Selenio – CAS 7782-49-2	70
4.2.20.	Uranio – CAS 7440-61-1	70
4.2.21.	Vanadio – CAS 7440-62-2	71
4.2.22.	Zinc – CAS 7440-66-6	71
4.3.	Parámetros nutrientes	72
4.3.1.	Fósforo Total	72
4.3.2.	Fosfatos (P-PO ₄)	72
4.3.3.	Nitratos (N-NO ₃)	72
4.3.4.	Nitritos (N-NO ₂)	73
4.3.5.	Nitrógeno amoniacal	73
4.3.6.	Nitrógeno Total	73
4.4.	Parámetros indicadores de contaminación orgánica	73
4.4.1.	Demanda Bioquímica de Oxígeno - DBO ₅	73
4.4.2.	Demanda Química de Oxígeno - DQO	73
4.4.3.	Carbón Orgánico Total - TOC	73
4.4.4.	Compuesto orgánicos halogenados AOX	74
4.4.5.	Aceites y grasas	74
4.4.6.	Fenol – CAS 198-95-2	74
4.4.7.	S.A.A.M. (detergentes)	75
4.4.8.	Hidrocarburos Totales de Petróleo, HTP	75
4.5.	Parámetro indicador de residuos orgánicos - subproducto de desinfección	76
4.5.1.	Trihalometanos	76
4.6.	Parámetros indicadores de residuos orgánicos - Compuestos Orgánicos Volátiles–COV	77
4.6.1.	1,1,1-Tricloroetano (C ₂ H ₃ Cl ₃ o CCl ₃ CH ₃) - CAS 71-55-6	77
4.6.2.	1,1-Dicloroetano (C ₂ H ₂ Cl ₂) - CAS 75-35-4	77
4.6.3.	1,2-Dicloroetano (C ₂ H ₄ Cl ₂) - CAS 107-06-2	78
4.6.4.	1,2-Diclorobenceno (C ₆ H ₄ Cl ₂) - CAS 95-50-1	78
4.6.5.	Hexaclorobutadieno (C ₄ Cl ₆ /CCl ₂) - CAS 87-68-3	79
4.6.6.	Tetracloroetano (C ₂ Cl ₄)- CAS 127-18-4	79
4.6.7.	Tetracloruro de carbono (CCl ₄) - CAS 56-23-5	80
4.6.8.	Tricloroetano (C ₂ HCl ₃) - CAS 79-01-6	80
4.7.	Parámetro indicador de residuos orgánicos - BTEX	81
4.7.1.	Benceno (C ₆ H ₆) - CAS 71-43-2	81
4.7.2.	Etilbenceno (C ₈ H ₁₀) - CAS 100-41-4	82
4.7.3.	Tolueno (C ₇ H ₈)– CAS 108-88-3	82

4.7.4. Xilenos (C ₆ H ₇ (CH ₃) ₂) – CAS 1330-20-7	83
4.8. Parámetro indicador de residuos orgánicos - HAP	83
4.8.1. Benzo [a] pireno (C ₂₀ H ₁₂) - CAS 50-32-8	83
4.9. Otros parámetros indicadores de residuos orgánicos	84
4.9.1. Pentaclorofenol (C ₆ Cl ₅ OH) - CAS 87-86-5	84
4.9.2. Triclorobencenos (C ₆ H ₃ Cl ₃) – CAS 108-70-3	85
4.10. Parámetros de residuos orgánicos persistentes : Plaguicidas organofosforados	85
4.10.1. Malatión (C ₁₀ H ₁₉ O ₆ PS ₂)- CAS 121-75-5	85
4.10.2. Metamidofós (restringido) (C ₂ H ₈ NO ₂ PS) – CAS 10265-92-6	86
4.10.3. Paratión (C ₁₀ H ₁₄ NO ₅ PS)– CAS 56-38-2	86
4.11. Parámetros de residuos orgánicos persistentes: Plaguicidas organoclorados	87
4.11.1. Aldrin - CAS 309-00-2	87
4.11.2. Clordano (C ₁₀ H ₆ Cl ₈) - CAS 57-74-9	88
4.11.3. DDT (C ₁₄ H ₉ Cl ₅) - CAS 50-29-3	88
4.11.4. Dieldrín (C ₁₂ H ₈ Cl ₆ O) – CAS 60-57-1	89
4.11.5. Endosulfán (C ₉ H ₆ Cl ₆ O ₃ S) – CAS 33213-65-9	89
4.11.6. Endrín (C ₁₂ H ₈ Cl ₆ O) – CAS 72-20-8	90
4.11.7. Heptacloro (C ₁₀ H ₅ Cl ₇) – CAS 76-44-8	90
4.11.8. Heptacloro epóxido (C ₁₀ H ₅ Cl ₇ O) – CAS 1024-57-3	91
4.11.9. Heptacloro - CAS 76-44-8 y heptacloripoxido	91
4.11.10. Lindano (C ₆ H ₆ Cl ₆) – CAS 55963-79-6	91
4.11.11. Paraquat (C ₁₂ H ₁₄ N ₂ ⁺²) - CAS 4685-14-7	92
4.12. Parámetros de residuos orgánicos persistentes: plaguicidas carbamatos	92
4.12.1. Aldicarb (C ₇ H ₁₄ N ₂ O ₄ S) – CAS 116-06-3	92
4.13. Parámetros de residuos orgánicos persistentes: Policloruros bifenilos	93
4.13.1. PCB (C ₁₂ H _(10-n) Cl _n)	93

CAPÍTULO V

ACTIVIDADES QUE PODRÍAN DETERIORAR LA CALIDAD DEL AGUA	95
5.1. La actividad minera en el Perú	95
5.2. La población en el Perú	101
5.2.1 Agua potable y alcantarillado en el área urbana	101

CAPÍTULO VI

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS Y NO DOMÉSTICAS	105
6.1. Tratamiento de aguas residuales domésticas	105
6.1.1. Componentes de una planta de tratamiento	109
6.2. Tratamiento de aguas residuales no domésticas	109
6.2.1. Tratamiento de efluentes minero-metalúrgicos	109
6.2.3. Tratamiento de efluentes pesqueros	110
6.3. Tratamiento de aguas residuales domésticas y lodos en los países miembros de la Unión Europea (UE)	111
6.3.1. Tratamiento de aguas residuales	111
6.3.2. Tratamiento de lodos residuales y disposición final	113

CAPÍTULO VII

DERECHOS DE USO DE AGUA, AUTORIZACIONES DE VERTIMIENTO Y REÚSO DE AGUAS RESIDUALES	117
---	-----

7.1. Derecho de uso de agua	117
7.2. Autorizaciones de vertimiento y reúso de aguas residuales	118

CAPÍTULO VIII

PERSPECTIVAS PARA EL FUTURO DE LA GESTIÓN DEL AGUA EN EL PERÚ	125
---	-----

8.1. El Sistema FPEIR	126
-----------------------	-----

8.2. Evaluación de la aplicación del Sistema FPEIR en el Perú	128
---	-----

8.2.1. Fuerzas impulsoras	128
---------------------------	-----

8.2.2. Presión	128
----------------	-----

8.2.3. Estado	129
---------------	-----

8.2.4. Impacto	130
----------------	-----

8.2.5. Respuesta	130
------------------	-----

Referencias bibliográficas	133
-----------------------------------	-----

Glosario	139
-----------------	-----

Relación de figuras

Figura 1. El agua en la Tierra	18
--------------------------------	----

Figura 2. Vías de exposición	48
------------------------------	----

Figura 3. Efecto del peligro por exposición a sustancias peligrosas	49
---	----

Figura 4. Sistema FPEIR	125
-------------------------	-----

Relación de gráficos

Gráfico 1. Producción de la plata durante los años 2001 al 2012	97
---	----

Gráfico 2. Población del Perú entre los años 2000 al 2013	101
---	-----

Gráfico 3. Cobertura de agua potable y alcantarillado por tamaño de EPS	102
---	-----

Gráfico 4. Evolución del tratamiento de aguas residuales y cobertura de alcantarillado	105
--	-----

Gráfico 5. Tratamiento de aguas residuales por tamaño de EPS	106
--	-----

Gráfico 6. Inventario de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas	107
--	-----

Gráfico 7. Población conectada a tratamiento de aguas residuales, 2009 (1)	113
--	-----

Gráfico 8. Aguas residuales, disposición de lodos de tratamiento de aguas residuales urbanas, por tipo de tratamiento, 2009 (1)	115
---	-----

Gráfico 9. Volumen de uso de agua según tipo de uso	118
---	-----

Gráfico 10. Número de autorizaciones para vertimiento y/o reúso de aguas residuales por sector/subsector	119
--	-----

Gráfico 11. Volumen autorizado para vertimiento y/o reúso de aguas residuales por sector/subsector	120
--	-----

Gráfico 12. Número de autorizaciones versus número de empresas del sector/subsector	121
---	-----

Gráfico 13. Número de autorizaciones de vertimiento y/o reúso por departamento (n=415)	122
--	-----

Gráfico 14. Volumen autorizado para el vertimiento de aguas residuales por departamentos, por año	123
---	-----

Gráfico 15. Volumen autorizado para el reúso de aguas residuales por departamentos, por año	124
---	-----

Relación de mapas

Mapa 1. Unidades mineras con plan integral de adecuación a LMP y ECA	100
--	-----

Mapa 2. Ubicación de entidades prestadoras de servicios sanitarios (EPS) en el Perú	103
---	-----

Mapa 3. Número de plantas de tratamiento de aguas residuales (EPS) por departamento	108
---	-----

Relación de tablas

Tabla 1.	Clasificación del estado ecológico de la Unión Europea al 2015	18
Tabla 2.	Disponibilidad de agua por vertientes	21
Tabla 3.	Volúmenes de uso de agua según región hidrográfica	22
Tabla 4.	Volúmenes de uso de agua según tipo de uso por región hidrográfica	23
Tabla 5.	Marco legal general relacionado a la gestión de aguas	25
Tabla 6.	Estándares nacionales de calidad ambiental para agua, de acuerdo a categorías	31
Tabla 7.	Marco legal relacionado a los estándares nacionales de calidad ambiental para agua (ECA-Agua)	34
Tabla 8.	ECA-Agua Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales	35
Tabla 9.	Marco legal: límites máximos permisibles (LMP) de descarga de efluentes líquidos al cuerpo receptor de diferentes actividades	39
Tabla 10.	Límites máximos permisibles (LMP) de descarga de efluentes líquidos al cuerpo receptor de diferentes actividades del sector Energía y Minas, en cualquier momento	40
Tabla 11.	Límites máximos permisibles (LMP) de descarga de efluentes líquidos al cuerpo receptor de diferentes actividades del sector Producción, en cualquier momento	41
Tabla 12.	Límites máximos permisibles (LMP) de descarga de efluentes líquidos al cuerpo receptor de diferentes actividades del sector Vivienda, Construcción y Saneamiento, en cualquier momento	42
Tabla 13.	Marco legal: Valores máximos admisibles (VMA) de las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario	43
Tabla 14.	Valores máximos admisibles (VMA) de las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario	43
Tabla 15.	Listado de las obligaciones de las entidades de fiscalización ambiental en materia de fiscalización ambiental	45
Tabla 16.	Parámetros del ECA-Agua que han sido clasificados por la IARC	49
Tabla 17.	Comparación de rangos de referencia de arsénico en muestras de orina	51
Tabla 18.	Resumen de niveles de valores límite (HBM I y HBM II)	52
Tabla 19.	Niveles de valores límite (HBM I y HBM II) para Alemania	52
Tabla 20.	Parámetros del ECA-Agua agrupados de acuerdo a su semejanza	53
Tabla 21.	Actividad minera a nivel nacional	96
Tabla 22.	Producción minera metálica del Perú	96
Tabla 23.	Lista de empresas mineras que presentaron PIA	98
Tabla 24.	Plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas de las EPS-Agua	107
Tabla 25.	Población conectada a tratamiento de aguas residuales, 2009 (1)	112
Tabla 26.	Aguas residuales disposición de lodos de tratamiento de aguas residuales urbanas, por tipo de tratamiento, 2009 (1)	114
Tabla 27.	Tipos de generadores de contaminantes	127

Siglas y acrónimos

AAA	Autoridad Administrativa del Agua
ADN	Ácido desoxirribonucleico
ALA	Administración local del agua
ANA	Autoridad Nacional del Agua

ATSDR	Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (Agency for Toxic Substances and Disease Registry)
ATUSA	Agua de Tumbes S.A.
CAS	Servicio de Abstractos Químicos (Chemical Abstracts Service)
CBD	Enfermedad crónica de berilio (Chronic beryllium disease)
CENSOPAS	Centro Nacional de Salud Ocupacional y Protección del Ambiente para la Salud
CEPAL	Comisión Económica para América Latina y el Caribe
CEPIS	Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente
CONAMA	Congreso Nacional del Medio Ambiente
COP	Contaminante orgánico persistente
COV	Compuesto orgánico volátil
DDT	Dicloro difenil tricloroetano
DDE	Dicloro difenil dicloroetileno
DDD	Dicloro difenil dicloroetano
DEFENSA	Ministerio de Defensa
DGM	Dirección General de Minería
DHHS	Departamento de Salud y Servicios Humanos de los Estados Unidos (US Department of Health and Human Services)
DIA	Declaración de Impacto Ambiental
DICAPI	Dirección General de Capitanías y Guardacostas del Perú
DIGESA	Dirección General de Salud Ambiental
DOC	Carbono orgánico disuelto (dissolved organic carbon)
ECA	Estándar de calidad ambiental
ECA-AGUA	Estándar de calidad ambiental para agua
EIA _{sd}	Estudio de impacto ambiental semidetallado
EIA _d	Estudio de impacto ambiental detallado
EPA	Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (US Environmental Protection Agency)
EPS	Empresa prestadora de servicios de saneamiento
HBM	Biomonitoreo humano (human biomonitoring)
HTP	Hidrocarburos totales de petróleo
IARC	Agencia Internacional para la Investigación en Cáncer (International Agency for Research on Cancer)
INEI	Instituto Nacional de Estadística e Informática
INS	Instituto Nacional de Salud
IPCS	Programa Internacional de Seguridad Química (international programme on chemical safety)
ITINCI	Industria, Turismo, Integración y Negociaciones Comerciales Internacionales
LMP	Límites máximos permisibles
LMA	Leucemia mieloide aguda
LRH	Ley de Recursos Hídricos
MINCETUR	Ministerio de Comercio Exterior y Turismo
MINEM	Ministerio de Energía y Minas
MINSA	Ministerio de Salud
MINAG	Ministerio de Agricultura y Riego
MINAM	Ministerio del Ambiente
MTC	Ministerio de Transportes y Comunicaciones
MVCS	Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento

NDOC	Carbono orgánico no disuelto (non dissolved organic carbon)
NVOC	Carbono orgánico no volátil (non volatile organic carbon)
OEFA	Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental
OMS	Organización Mundial de la Salud
OSNIRH	Oficina del Sistema Nacional de Información de Recursos Hídricos
PCB	Policloruros bifenilos
PCM	Presidencia del Consejo de Ministros
PES	Pequeña empresa de saneamiento
PIA	Plan Integral para la Adecuación
PLANAA	Plan Nacional de Acción Ambiental
PNUMA	Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente
PRODUCE	Ministerio de la Producción
PTAR	Planta de tratamiento de aguas residuales
RAAA	Red de Acción en Agricultura Alternativa
RAE	Real Academia [de la Lengua] Española
ROF	Reglamento de organización y funciones
SEDAPAL	Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima
SUNASS	Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento
TAR	Tratamiento de aguas residuales
TLF	Tonelada larga fina
TMF	Tonelada métrica fina
TUO	Texto único ordenado
UE	Unión Europea
UN	Naciones Unidas (united Nations)
VIVIENDA	Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento
VMA	Valores máximos admisibles
VOC	Carbono orgánico volátil (volatile organic carbon)
WAD	Disociable en ácido débil (weak acid dissociable)

Abreviaturas

Art.	Artículo
Arts.	Artículos
D.S.	Decreto Supremo
p.e.	Por ejemplo
R.M.	Resolución Ministerial
R.J.	Resolución Jefatural
R.S.	Resolución Suprema

Unidades

°C	Grado Celsius
Hm ³	Hectómetro cúbico
L/s	litro por segundo
mg	miligramo
mg/L	miligramo por litro
µg/L	microgramo por litro
µS/cm	microSiemens por centímetro
NMP	número de muestra más probable
µm	micra

PRESENTACIÓN

La Universidad Nacional Agraria La Molina se complace en presentar el libro titulado *Gestión del Agua en el Perú: Uso, Protección y Tratamiento*, el cual constituye un valioso aporte al manejo sostenible de los recursos hídricos en el Perú. Esta publicación se realiza dentro del programa de publicaciones del Fondo Editorial de esta casa de estudios, la cual viene publicando libros de las diferentes especialidades que abarca la universidad y cuyos autores son profesores de este centro superior de estudios.

El Mg. Sc. Víctor Miyashiro Kiyán, Decano de la Facultad de Ciencias de la UNALM, la Ing. Leonor Méndez Quincho y la Ing. Lucía Orihuela de Campos, autores del libro son profesionales de gran prestigio, con una amplia experiencia en el campo de las ciencias ambientales y autores de diversas publicaciones sobre temas relacionados al área de su especialidad.

En el libro se presenta el estudio del agua en todos sus aspectos, naturales y políticos, por ser un elemento indispensable para la salud y el bienestar humano y factor determinante para un desarrollo sostenible. De su calidad depende la preservación del medio ambiente, además de cubrir las necesidades básicas del ser humano. El Perú posee el 71% de los glaciares tropicales del mundo, y está experimentando un preocupante retroceso, en los próximos años la disponibilidad de este recurso afectará el uso que se hace de los recursos hídricos. A ello se suma el deterioro de su calidad, limitante del uso potencial que compromete el abastecimiento de agua normal a la población, provocando además la alteración de los hábitats y pérdida de especies. En el Perú, el tratamiento de aguas residuales domésticas y no domésticas es incompleto y es de vital importancia la protección del recurso hídrico. La prevención del despilfarro, aprovechándolo responsablemente (a través del vertimiento de efluentes que no contaminen el medio ambiente) y del reúso del recurso, es el primer paso.

Existe una distribución hídrica asimétrica, puesto que la disponibilidad de agua en la vertiente del Atlántico es mucho más abundante que en la vertiente del Pacífico. En estas condiciones, para aprender a realizar un manejo adecuado de este recurso, se presenta

una visión panorámica de la gestión del agua enfocado en el uso. La protección de este recurso escaso requiere el tratamiento de las aguas residuales con la finalidad de proteger las fuentes naturales de agua y con ello la salud de las personas.

La Universidad Nacional Agraria La Molina, agradece a los autores por su aporte, al hacer realidad la publicación de este excelente libro.

Dr. Jesús Abel Mejía Marcacuzco
Rector
Universidad Nacional Agraria La Molina

PRÓLOGO

El agua es indispensable para la salud y el bienestar humanos así como para la preservación del medio ambiente, pues además de cubrir las necesidades básicas del ser humano, son factores determinantes para un desarrollo sostenible su abastecimiento y los servicios de saneamiento, así como el uso que se hace de los recursos hídricos. El agua es indispensable para la agricultura, forma parte de numerosos procesos industriales, es una fuente de energía y también es un medio de transporte.

El Perú posee el 71% de los glaciares tropicales del mundo, pero muchos de ellos están experimentando un preocupante retroceso, lo cual afectaría la disponibilidad de este recurso en los próximos años (MINAM, 2010), si no se realiza un manejo adecuado como recurso, más aún cuando existe una distribución hídrica asimétrica, puesto que la disponibilidad de agua en la vertiente del Atlántico es mucho más abundante que en la del Pacífico, donde habita aproximadamente el 65% de la población peruana.

A la escasa disponibilidad se suma el deterioro de la calidad de agua, que limita los potenciales usos del recurso y compromete el normal abastecimiento de agua a la población, provocando además la alteración de los hábitats y pérdida de especies. Esto sucede porque en el Perú el tratamiento de aguas residuales domésticas y no domésticas es incompleto. Para el tratamiento de las aguas residuales domésticas existen 50 entidades prestadoras de servicios de saneamiento (EPS) que brindan el servicio de tratamiento a los distritos, provincias o capitales de departamentos, tratando sólo el 29,07% de las aguas residuales domésticas generadas, mientras que para el tratamiento de las aguas residuales no domésticas no se cuenta con un registro completo de las generadas y cuánta de ellas están recibiendo un tratamiento previo antes de ser vertidas a los cuerpos de agua, excepto la cantidad que es autorizada para vertimiento o reúso por la Autoridad Nacional del Agua (ANA).

Por ello, es de vital importancia la protección del recurso hídrico, aprovechándolo responsablemente, a través del vertimiento de efluentes que no contaminen el medio ambiente y del reúso del recurso. En ambos casos los efluentes deben seguir un tratamiento adecuado a fin de alcanzar los límites máximos permisibles (LMP) para las actividades que realizan, de modo que al verterlos a los cuerpos de agua no superen los estándares de calidad ambiental para el agua (ECA-Agua), de modo que se preserve su calidad, lo cual redundará en una mejor calidad de vida para la persona.

Este libro presenta una visión panorámica de la gestión del agua enfocada en el uso, integrando la protección de este recurso que es tan escaso y el tratamiento de las aguas residuales con la finalidad de proteger las fuentes naturales de agua y con ello la salud de las personas. Para ello se han desarrollado ocho capítulos:

En el capítulo 1 se aborda la importancia del agua en el contexto internacional de escasez, especificando la disponibilidad de agua en el país en sus tres vertientes y los usos que se le da. En el capítulo 2 se describe el marco legal referido a esta temática aborda: el uso del agua, su protección y el tratamiento de las residuales, así como su descarga en el alcantarillado sanitario, los ECA-Agua, los LMP y los valores máximos permisibles (VMA), así como la fiscalización para el cumplimiento de los LMP y ECA-Agua.

Si bien el marco legal ha provisto para la gestión del agua los LMP y ECA-Agua, se hace necesario introducir el concepto de riesgo a la salud debido a los peligros ambientales, por ello en el capítulo 3 se definen los principales conceptos en esta temática, alcanzando un listado con las sustancias químicas con potencial riesgo carcinogénico, y describiendo algunos estudios de salud ambiental realizados en el país, mostrando cómo el concepto de rango (valor) de referencia permite evaluar la exposición de grupos de poblaciones a ciertas condiciones ambientales. Además, en el capítulo 4 se describen los conceptos teóricos de cada uno de los parámetros establecidos en el ECA-Agua con la finalidad de entender mejor los resultados de monitoreos cuando se evalúe la calidad del agua.

En el capítulo 5 se describen dos actividades que podrían alterar la calidad del agua si no se tiene cuidado del medio ambiente, estas actividades han sido seleccionadas a modo de ejemplo, porque se tiene mayor disponibilidad de información. En primer lugar, los efluentes que son generados por la actividad minera y, en segundo lugar, las aguas residuales que genera la población. En seguida se describe, en el capítulo 6, la situación del tratamiento de las aguas residuales domésticas y no domésticas, finalizando el capítulo con una descripción del tratamiento de las aguas residuales domésticas y lodos en los países miembros de la Unión Europea (UE).

Los derechos de uso de agua así como las autorizaciones de vertimiento y/o reúso de aguas residuales tratadas, otorgados por la Autoridad Nacional del Agua (ANA), son descritos en el capítulo 7.

Finalmente, en el capítulo 8 se describen las perspectivas futuras, evaluando la gestión del agua en lo relacionado a uso, protección y tratamiento, utilizando una herramienta de análisis ambiental denominada Sistema FPEIR (fuerzas [impulsoras], presiones, estado, impacto y resultado). Se espera que los temas desarrollados en el presente libro sean de ayuda a todo aquel que se encuentre comprometido con una mejora de la calidad de vida de las personas en su medio ambiente.

CAPÍTULO 1

EL AGUA DULCE, UN RECURSO ESCASO

En los próximos años los desafíos relacionados con la gestión del agua serán cada vez mayores. La población mundial en continuo crecimiento y el aumento en los ingresos son factores que determinarán un enorme aumento del consumo de agua y de la generación de residuos. Se prevé un crecimiento alarmante en la población de las ciudades de los países en desarrollo, que demandará un aumento mucho mayor en las capacidades de los servicios y la infraestructura de abastecimiento de agua, que actualmente ya son insuficientes. Según lo indica el informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo, en el año 2050, no menos de una de cada cuatro personas vivirá en un país con escasez crónica o recurrente de agua. (UN, 2013)

1.1. El contexto internacional

Los temas relacionados con el agua y saneamiento se encuentran posicionados en las principales agendas internacionales, ya que para alcanzar el desarrollo sostenible, se tiene que asegurar la cobertura de las necesidades básicas del ser humano, es decir el abastecimiento de agua y los servicios de saneamiento; así como el uso del recurso hídrico en el desarrollo de actividades económico-productivas con el debido cuidado del medio ambiente.

El agua es indispensable en las actividades productivas del ser humano como por ejemplo en la agricultura, en numerosos procesos industriales, siendo en algunos países la principal fuente de energía, y en algunos otros casos el principal medio de transporte para las actividades comerciales.

1.1.1. EN EL MUNDO

El agua se encuentra en nuestro planeta en diferentes formas, es decir, como hielo en las zonas polares y glaciares, como vapor en la atmósfera y como líquido en los ríos, lagos y aguas subterráneas. La disponibilidad del agua en la Tierra es de 1 384 millones km³ (Haberl, 2004).

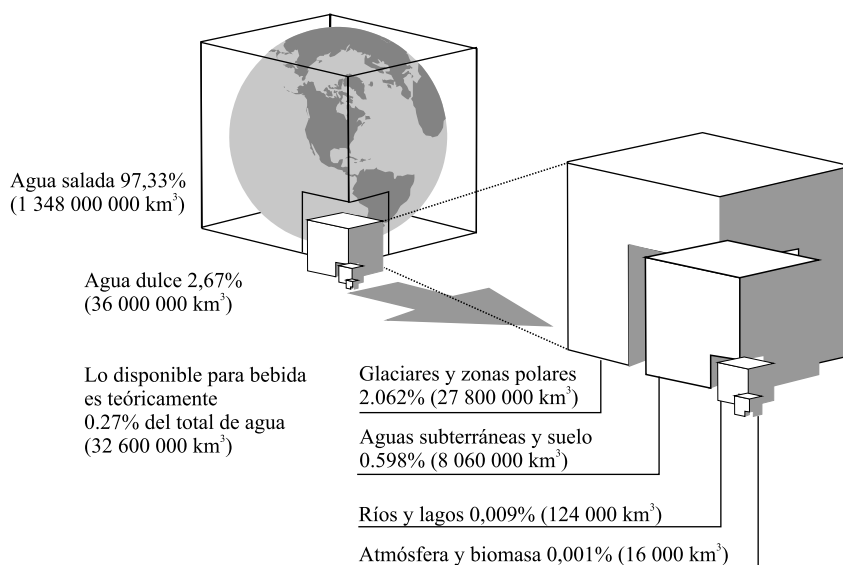
Como se puede apreciar en la Figura 1, el 97,33% es agua salada, sólo una pequeña parte del agua es dulce y de ello la mayor parte está en forma de hielo; teóricamente tan sólo el 0,27 % del total del agua de la Tierra se puede emplear para abastecimiento de consumo humano, que viene a ser el 10 % del agua dulce.

1.1.2. EN EUROPA

En Europa, hace ya 19 años, se advertía la necesidad de proteger el recurso hídrico. Un estudio actualizado sobre el estado del medio ambiente, *El medio ambiente en la Unión Europea 1995*, confirmaba la necesidad de tomar medidas para proteger las aguas comunitarias en términos no sólo cuantitativos sino también cualitativos.



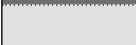


En octubre del 2000 el Parlamento Europeo y el Consejo Europeo presentan la directiva 2000/60/CE donde se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas. Para guiar sus acciones, esta directiva establece categorías de aguas superficiales, clasificando su estado ecológico en base a los correspondientes indicadores del control biológico y fisicoquímico de calidad: Muy bueno, Bueno, Aceptable, Deficiente y Malo. Este sistema relaciona cada valor mínimo de los resultados a un color, como se puede apreciar en la Tabla 1.

Figura 1. El agua en la Tierra



Fuente: Haberl, 2004

Tabla 1. Clasificación del estado ecológico de la Unión Europea al 2015

Clase	Clasificación del estado ecológico	Código de colores
Clase I	Muy bueno	 Azul
Clase II	Bueno	 Verde
Clase III	Aceptable	 Amarillo
Clase IV	Deficiente	 Naranja
Clase V	Malo	 Rojo

Fuente: Parlamento Europeo y del Consejo Europeo, Directiva 2000/60/CE, octubre 2000.

Según la directiva señalada, antes del 2015, los estados miembros de la comunidad europea facilitarán un mapa de cada cuenca hidrográfica que ilustre la clasificación del estado ecológico de cada masa de agua de acuerdo con el código de colores.

Es preciso mencionar que la Directiva contempla el control de las aguas superficiales mediante indicadores biológicos, entre ellos fitoplancton, macrofitas, bentos macroinvertebrados y peces. El zooplancton no está considerado, entre los indicadores biológicos, lo cual, según la apreciación de muchos limnólogos, constituye una carencia de esta directiva (Benndorf, 2008).

1.1.3. EN AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE

En América Latina y el Caribe (CEPAL, 2005) existen condiciones de una creciente escasez de agua y competencia entre usuarios por su uso, lo que trae como consecuencia conflictos crecientes y el uso ineficiente del recurso, debido principalmente a:

- La falta de objetividad y de imparcialidad, que a menudo conlleva a prescindir de los criterios técnicos, en el proceso de toma de decisiones asociadas a los recursos hídricos.
- Es difícil tener una visión integrada de la gestión del recurso hídrico, cuando las funciones de gestión tienden a separarse de una manera que no responde a las características físicas del recurso ni a su uso óptimo.

Muchos países de la región tienen interés para adecuar la organización administrativa del sector hídrico en función del enfoque de gestión integrada del agua. Sin embargo, las estructuras administrativas del sector hídrico actuales son un obstáculo para el logro de la gestión integrada. A esto se suma la debilidad de las capacidades del Estado para regular el uso del recurso y hacer cumplir las normas.

En muchos casos, los sistemas administrativos están muy fragmentados, con importantes vacíos de gestión y vulnerables a la politización de actividades técnicas. Los sucesivos diagnósticos de administración del agua en los países de la región concluyen que estos sistemas se caracterizan por un enfoque esencialmente sectorial.

En consecuencia, muchos países de la región se encuentran en proceso de elaboración de nuevas leyes de aguas o de modificación de las existentes, con la finalidad de obtener un diseño institucional del sistema administrativo de gestión de recursos hídricos que contribuya a una gestión eficiente.

1.2. El contexto nacional

El país cuenta con recursos hídricos provenientes de diversas fuentes que necesitan ser administrados eficientemente, ya que éstos no siempre se encuentran disponibles donde está localizada la mayor parte de la población o el desarrollo económico. Es así que el crecimiento poblacional del país y de las actividades económicas a nivel nacional han ocasionado en los últimos años serios conflictos en torno al acceso y uso del agua en zonas y espacios determinados. Estos conflictos son entre autoridades sectoriales, regionales, municipales, usuarios individuales y empresas, comunidades, entre otros agentes.

Desde el 2009 el Estado está implementando la Política y Estrategia Nacional de Recursos Hídricos, la cual prioriza los desafíos orientados a:

- Equilibrar demandas actuales y futuras.
- Mejorar la distribución de recursos hídricos y la protección de la calidad del agua.
- Incrementar las eficiencias en el uso de agua.
- Atenuar los efectos de eventos extremos y cambio climático, y desarrollar una cultura del agua participativa para su eficiente gestión.

Para ello, la administración pública de la gestión del agua está considerando la cuenca hidrográfica como unidad básica natural de planificación en el ordenamiento territorial con un enfoque de “gestión integrada de recursos hídricos”. El criterio que informa este nuevo paradigma del agua privilegia la gestión del agua desde la demanda, en las 159 unidades, o cuencas, hidrográficas demarcadas por la Autoridad Nacional del Agua (ANA). La gestión administrativa de recursos hídricos se efectúa en 71 administraciones locales de agua (ALA), cuyo ámbito jurisdiccional administrativo es coincidente con los límites naturales de cuencas hidrográficas. A las unidades mayores a dicha administración de recursos se les denominan demarcaciones hidrográficas donde ejercen competencia administrativa 14 autoridades administrativas del agua (AAA), conformadas por un conjunto de cuencas hidrográficas que alcanzan niveles geográficos regionales. La delimitación de cada AAA corresponde a criterios vinculados directamente con la gestión regional de recursos hídricos. (ANA, 2013)

1.2.1. DISPONIBILIDAD DEL AGUA

El Perú cuenta con importantes recursos hídricos provenientes de fuentes naturales como ríos, glaciares, lagos, lagunas, humedales, acuíferos, y también de fuentes alternativas, como las aguas desalinizadas provenientes del mar y aguas residuales tratadas.

Ríos

La cordillera de los Andes permite la formación de una red de más de 1007 ríos que conducen un volumen promedio anual de 2046 km³. La línea divisoria de aguas conforma tres grandes vertientes (MINAM, 2012):

- La vertiente del Pacífico, donde se distribuyen 53 ríos de corto tramo, torrentosos y no navegables, con un patrón de cursos fluviales paralelos y que abarcan una superficie de casi 280 000 km². En esta vertiente se encuentra disponible el 1,8% del volumen total del agua disponible y se asienta el 65% de la población.
- La vertiente atlántica posee una extensión de casi 959 mil km², donde se encuentra disponible el 97,7% del volumen total de agua y se concentra el 30% de la población nacional. En esta vertiente discurren un gran número de cauces y ríos, dentro de un complejo patrón dendrítico de drenaje.
- La vertiente del Titicaca posee una extensión 47 mil km², reúne apenas el 0,5% del volumen total y es donde se asienta el 5% de la población.

Estos ríos forman un total de 159 unidades hidrográficas o cuencas hidrográficas, de las cuales 62 pertenecen a la vertiente del Pacífico, 84 pertenecen a la vertiente del Atlántico y 13 pertenecen a la vertiente del lago Titicaca.

Tabla 2. Disponibilidad de agua por vertientes

Vertiente	Superficie (1000 km ²)	Población		Disponibilidad del agua		Índice m ³ /hab/año
		(miles)	(%)	(Hm ³ /año)	(%)	
Pacífico	279,7	18 315	65	37 363	1,8	2040
Atlántico	958,5	8 579	30	1 998 752	97,7	232 979
Lago Titicaca	47,0	1326	05	10 172	0,5	7669
Total	1 285,2	28 220	100	2 046 287	100	72 510

Fuente: INRENA, 1995 citado en ANA, 2009

Las condiciones climáticas del país y la vertiente en la que se encuentran ubicados los ríos determinan que sus caudales varíen. Los ríos de la vertiente del Pacífico son en su gran mayoría de caudal irregular presentándose los mayores flujos de agua entre diciembre y marzo (períodos de lluvia), este mismo comportamiento lo tienen los de la sierra pero que desembocan en el Pacífico.

Lagunas

El Perú posee 12 201 lagunas, de las cuales 3 896 se localizan en la vertiente del Pacífico, 7 441 en la del Atlántico, 841 en la del Titicaca, y 23 en vertientes cerradas. De todas, 186 lagunas se encuentran en explotación, con una capacidad promedio de regulación de 3 028 Hm³.

De las lagunas explotadas, en la vertiente del Pacífico se localizan 105, con una capacidad de regulación de 1 379 Hm³, y 76 en la vertiente del Atlántico, con una regulación de 1604 Hm³. Además, en la hoya del Titicaca se localizan dos, lagunas con 4 Hm³ y otras tres lagunas en las vertientes cerradas, con 41 Hm³ de capacidad de almacenamiento. (ANA, 2009)

Acuíferos

En la vertiente del Pacífico, se estima una reserva explotable anual de 2 700 Hm³, de este volumen se aprovecha en promedio 1500 Hm³ al año con fines poblacionales, pecuarios, agrícolas, industriales y mineros. En la vertiente del Atlántico y del Titicaca se presume que existe un gran potencial de reservas explotables de agua subterránea, sin embargo la insuficiencia de estudios hidrogeológicos ha dificultado la identificación de nuevas áreas favorables para la explotación de aguas subterráneas a nivel de cuencas hidrográficas, incluyendo los acuíferos altoandinos. (ANA, 2009)

Fuentes alternativas

La desalación del agua de mar

En el Perú es aún incipiente, existiendo un gran potencial, a lo largo de los 3 080 km de litoral, Las ventajas del proceso de desalación son enormes; sin embargo, entre los obstáculos más importantes figuran el daño ambiental y el costo de producción. En la actualidad empresas de la actividad minera desalan agua de mar para atender las necesidades de los procesos productivos, en Ilo existen dos plantas desaladoras con una producción promedio de 15 L/s cada una, en Chincha una planta que produce 36 L/s

(ANA, 2009) y en el desierto de Sechura, la Unidad Minera Bayóvar de la Compañía Minera Miskimayo S.R.L., cuenta con una planta desaladora mediante ósmosis inversa que trata 57 L/s de agua de mar (Farfán, 2012). Asimismo, hay proyectos de plantas desaladoras en empresas termoeléctricas en Chilca que además de proveer agua para sus procesos productivos proveerán 2 000 m³ diarios de agua potable para la población de la zona (RPP, 2012).

El reúso de aguas residuales

Es una fuente adicional para atender la demanda del recurso. Al año 2007, existían 143 plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) en las entidades prestadoras de servicios de saneamiento (EPS) supervisadas por la SUNASS, que tratan un volumen de 258,2 Hm³, de los cuales, 150,7 Hm³ son destinados para el uso agrícola y 20,1 Hm³ son destinados al riego de áreas verdes recreativas. (SUNASS, 2008) De otro lado, se tiene que a diciembre del 2012 la ANA ha autorizado el reúso de 29 Hm³ de aguas residuales tratadas, para diversos usos, entre ellos: riego de vías y jardines, compactación de tierras y control de polvo, riego de cultivos de tallo largo y corto, riego de cultivos forestales, riego de parques y jardines.

1.2.2. EL USO DEL AGUA

Las personas naturales o jurídicas que requieren usar el agua, necesitan contar con el derecho de uso de agua, otorgado por la ANA, que les faculta el uso sostenible del recurso según las condiciones establecidas en la Ley de Recursos Hídricos y su reglamento. Los derechos de uso de agua pueden ser de tres tipos: licencias, permisos y autorizaciones, las primeras son de carácter permanente y las otras dos de carácter temporal.

Según el Boletín Técnico 2012-II Recursos Hídricos del anuario *Perú en Cifras*, se han otorgado derechos de uso por un volumen de agua de 43 786,50 Hm³, de los cuales el 47% (20 642,04 Hm³) corresponden a usos consuntivos, y el 53,00% (23 144,46 Hm³) corresponden a usos no consuntivos, tal como se puede apreciar en la Tabla 3.

Tabla 3. Volúmenes de uso de agua según región hidrográfica

Región hidrográfica	Uso consuntivo		Uso no consuntivo		Total	
	Cantidad	%	Cantidad	%	Cantidad	%
Pacífico	18 653,35	90,4	13 545,40	58,5	32 198,75	73,6
Amazonas	1787,96	8,7	8 957,68	38,7	10 745,64	24,5
Titicaca	200,73	1,0	641,38	2,8	842,11	1,9
Total	20 642,04	100,0	23 144,46	100,0	43 786,5	100,0

Fuente: ANA/OSNIRH, 2012. Elaboración propia.

En la Tabla 4 se puede apreciar que las actividades que mayor volumen de agua tienen otorgado usar son el energético 52,36% (22 927,35 Hm³) y el agrario 40,47% (17 718,49 Hm³). El uso energético realiza un uso no consuntivo del agua, a diferencia del uso agrario que sí es consuntivo. Si solamente se toma en cuenta el uso consuntivo del agua, luego del uso agrario se tiene el volumen otorgado para el uso poblacional 5,50% (2 409,51 Hm³), el uso minero 0,69% (301,11 Hm³).

Tabla 4. Volúmenes de uso de agua según tipo de uso por región hidrográfica

Tipo de uso	Región						Total	
	Pacífico		Amazonas		Titicaca			
	Cantidad	%	Cantidad	%	Cantidad	%	Cantidad	%
Energético	13 434,05	41,72	8 862,58	82,48	630,72	74,90	22 927,35	52,36
Agrario	16 350,88	50,78	1211,55	11,27	156,06	18,53	17 718,49	40,47
Poblacional	2 016,74	6,26	353,93	3,29	38,84	4,61	2 409,51	5,50
Minero	132,30	0,41	163,34	1,52	5,47	0,65	301,11	0,69
Industrial	153,43	0,48	59,14	0,55	0,35	0,04	212,92	0,49
Acuícola	102,82	0,32	76,33	0,71	10,66	1,27	189,81	0,43
Recreativo	8,16	0,03	17,58	0,16	0,00	0,00	25,74	0,06
Turístico	0,37	0,00	1,20	0,01	0,00	0,00	1,57	0,00
Total	32 198,75	73,5	10 745,65	24,5	842,10	1,9	43 786,50	100,0



Uso consuntivo



Uso no consuntivo

Fuente: ANA/OSNIRH, 2012.
Elaboración propia.

Es preciso señalar que las cifras reportadas por la ANA corresponden a las instituciones formales que han solicitado sus derechos de uso, por lo que se desconoce el volumen total usado a nivel país.