

Interpretación de los datos considerando las relaciones entre las variables hidrológicas y de calidad del agua, las variabilidades temporal y espacial, las relaciones causa-efecto y la adecuación del agua a los diferentes usos. Paso 9

La interpretación de los datos debe estar relacionada con los objetivos del programa y los resultados que se desea obtener. La medición de las variables hidrológicas permite conocer el comportamiento del cuerpo de agua y facilita la comprensión de las variaciones que presentan sus indicadores de calidad. La identificación de vínculos entre los valores de las variables hidrológicas con las de calidad del agua puede contribuir también a identificar la fuente de contaminación principal en aquellos sitios donde confluyen varias, a través del comportamiento de las concentraciones de algunas variables en relación al caudal. La disminución de la concentración a medida que aumenta el caudal se produce por la dilución de una sustancia introducida a tasa constante, esto es característico de descargas municipales o industriales. Si la concentración de la sustancia aumenta con el caudal, puede estar vinculado con el arrastre de constituyentes del suelo y si el incremento de la concentración es exponencial puede tener origen en erosión y remoción del lecho del río y de los canales no revestidos.

La variabilidad temporal y espacial de la calidad del agua está afectada por la evolución de las variables hidrológicas y por la distribución y estacionalidad de las fuentes de contaminación. La identificación de las relaciones entre las variables de calidad del agua y las características de las fuentes de contaminación conducen al entendimiento de las relaciones causa-efecto.

La adecuación del agua a posibles usos en el área podrá determinarse a través de la confrontación de su calidad y estado de contaminación con los requerimientos para cada uso.

Diferentes técnicas pueden facilitar la comprensión de estas numerosas interrelaciones. El análisis estadístico es una de las más utilizadas, su limitación está en el requerimiento de una cantidad suficiente de datos para su aplicación. Para sintetizar los datos de calidad de agua en una forma simple y comprensible, se utiliza la estadística descriptiva, a través de indicadores tales como media y mediana. A su vez, cuando se evalúa la dinámica de la calidad del agua se aplica la estadística inductiva, se plantean ciertas cuestiones del comportamiento del cuerpo de agua y sus variables de calidad bajo la forma de hipótesis, entonces para responder a estas preguntas se utiliza la determinación de diferencias significativas, correlaciones y regresiones.

Cuando la cantidad de datos es escasa porque, por ejemplo, sólo se ha analizado un período de un año o porque la cantidad de puntos de muestreo es baja, no será adecuado realizar un análisis estadístico. En estos casos la interpretación se facilitará a través de la elaboración de gráficos, los cuales muestren la evolución de las diferentes variables en el tiempo y en el espacio. A su vez, el análisis de estos gráficos junto con la información sobre usos y fuentes de contaminación permitirá detectar las relaciones causa-efecto y la adecuabilidad de las aguas a los diferentes usos.

La utilización de Sistemas de Información Geográfica es otra técnica que puede facilitar la interpretación de los datos, ya que permite superponer la información referente a los usos del agua, identificando los puntos críticos de abastecimiento y las fuentes de contaminación con sus sitios de descarga. Esto facilitará, en primer lugar, la determinación de los puntos de muestreo y luego una vez ubicados éstos, permitirá volcar la información para los diferentes momentos de muestreo y obtener, así, mapas de contaminación del agua superficial en los sucesivos períodos favoreciendo la interpretación de la variabilidad temporal y espacial. A su vez, la superposición de estos mapas con los correspondientes a la ubicación de las fuentes de contaminación permitirá entender las relaciones causa-efecto. Y la superposición con el mapa de usos del agua permitirá definir su adecuación a los diferentes usos en toda la red, durante todo el ciclo analizado.

Elaboración de un informe sobre el programa de evaluación de la contaminación del agua del área de riego. Paso 10

El informe podrá contener tres secciones, la primera brindando una síntesis de las características del área de riego, los usos del agua, las principales fuentes de contaminación y la legislación vigente en la materia. La segunda presentando las características propias del programa de evaluación (objetivos, puntos y frecuencia de muestreo, variables, forma de toma de muestras y análisis), los resultados de los análisis realizados y su interpretación. Y por último las conclusiones y recomendaciones. Si el lector posee un buen conocimiento de la zona, el informe podrá sólo centrarse en las dos últimas secciones.

El informe deberá aportar sugerencias para mejorar los futuros programas de evaluación de la contaminación y brindar pautas para la toma de decisiones de las instituciones vinculadas con los recursos hídricos.

CAPITULO VI

ESTUDIO DE CASO

El estudio de caso seleccionado corresponde al área de riego de la cuenca inferior del río Tunuyán. Provincia de Mendoza. Argentina. Los datos pertenecen al documento "La eficiencia de riego y la participación de los usuarios en el manejo y control de la calidad del agua en Mendoza" realizado por INCYTH-CRA en el período agosto de 1992 - setiembre de 1993.

Aplicación del flujograma

En este capítulo se presenta la aplicación, paso a paso, del flujograma propuesto, para la evaluación de la contaminación del agua, al área de riego seleccionada. Cabe aclarar que el estudio de las aguas de la cuenca inferior del río Tunuyán, presentado en el documento mencionado, fue diseñado y ejecutado con anterioridad a la definición del flujograma propuesto en el presente trabajo. Por lo tanto algunos pasos son definidos en este estudio, mientras que otros surgen de la adaptación de los datos aportados por el documento base.

Objetivos del programa. Paso 1

Los objetivos del programa son:

- Efectuar un primer reconocimiento de la calidad del agua de riego y drenaje y de su carga contaminante para obtener un diagnóstico general de la contaminación del agua del área bajo estudio.
- Relacionar el diagnóstico general con un relevamiento de las fuentes de contaminación existentes en el área para identificar las relaciones causa - efecto.

El cumplimiento de estos objetivos permite al INCYTH - CRA, institución responsable de la investigación sobre recursos hídricos de la región, conocer las bases para brindar pautas de políticas que contribuyan a la recuperación de la calidad del agua de riego.

El cumplimiento del primer objetivo se inició con el trabajo presentado en el documento mencionado, mientras que el segundo quedó planteado para una etapa posterior. El presente trabajo permite profundizar el diagnóstico, contribuir a la identificación de las causas de la contaminación del área y brindar pautas para el establecimiento de un programa de seguimiento de la calidad del agua de riego.

Usos del agua superficial. Paso 2

El uso principal del agua superficial del río Tunuyán Inferior es el riego. La superficie total cultivada es de 46.623 ha, el riego se realiza en forma exclusiva con agua superficial o subterránea y también en forma conjunta. El patrón de cultivos es el siguiente: vid (65,1%), olivos (9,4 %), frutales (14,3 %), hortalizas (5,9 %), pasturas (2,5 %), forestales (1,6 %) y otros (1,2 %), según datos aportados por el DGI para la campaña 1994-95 (Tabla 2.1 del apéndice 2).

La cantidad de agua superficial aportada por año al área depende de la cantidad y calidad de la nieve depositada en la cuenca del río. Datos del DGI para el período 1981-1987 indican un volumen medio en cabecera de canal de 10.888 m³/ha año. El agua se aplica durante el período vegetativo aproximadamente cada 28 días en 7 a 10 riegos y uno o dos riegos complementarios en invierno. La eficiencia de riego es de 39% (eficiencia externa 63% y eficiencia interna 62%). A su vez, las aguas que corren por los desagües, frecuentemente, se reúsan para riego de fincas en la parte inferior del área de riego.

El abastecimiento industrial es otro de los usos del agua superficial. Según lo indica un estudio realizado por Kotlik (1988) el agua para abastecimiento de las industrias es aportada en un 86 % por perforaciones propias de los establecimientos, en un 9 % a través de la provisión de agua potable y sólo en un 5% se utiliza agua de los cauces. La razón de la baja proporción de agua que es aportada por la red de riego es que la variación en su caudal, motivada por el sistema de turnado, dificulta la normal provisión de agua para la industria.

No hay utilización de agua superficial para suministro de agua potable en esta área, ya que según información aportada por Obras Sanitarias Mendoza, las fuentes para las ciudades y poblados ubicados en la subcuenca del Tunuyán inferior provienen de la extracción de aguas subterráneas.

Un estudio realizado recientemente por Chambouleyron et al (1996) indica que algunos pobladores que habitan en pequeños asentamientos, junto a ciertos canales del área, utilizan el agua de la red de riego para la limpieza de enseres domésticos como ropa y utensilios y también para el aseo personal.

Las aguas del embalse El Carrizal son utilizadas para la provisión de energía hidroeléctrica y la realización de actividades deportivas y pesqueras. El dique derivador Tiburcio Benegas también permite la realización de actividades recreativas en sus inmediaciones a través de su zona de acampamiento.

El conocimiento de los usos del agua permite preparar una lista preliminar de las variables a evaluar en las muestras de agua del área de riego. Se consideran, entonces, con este fin los usos: riego y actividades de contacto directo. El primero por ser el uso principal (ver variables en Tablas 1.1 y 1.3) y el segundo, de menor cuantía, para considerar el uso doméstico que realizan los pobladores del área (ver variables en Tabla 1.1, Recreación y salud). El uso de abastecimiento industrial no se considera por su menor importancia y por

falta de datos actualizados sobre el uso que las industrias dan al agua tomada de los cauces de riego. La Tabla 2.2 presenta la lista de variables a evaluar en las muestras de agua del área de riego de la cuenca inferior del río Tunuyán, de acuerdo a sus usos.

Fuentes de contaminación del agua del área de riego. Paso 3

Las fuentes de contaminación del agua superficial del área de riego en estudio son las actividades urbana, industrial y agrícola.

Contaminación urbana

El área de riego abarca los departamentos de Junín, Rivadavia y San Martín, cuya superficie total es de 3.908 km². La población es de 173.884 habitantes, de los cuales 94% están ubicados en el área de riego (Tablas 2.3, 2.4 y 2.5).

El departamento de Junín, incluido totalmente en el área de riego, posee un 54 % de población urbana. Las ciudades cuya población supera los 2000 habitantes son: Junín, La Colonia, Los Barriales y Medrano. La ciudad de Junín está ubicada entre el Canal de riego Viejo Retamo al norte y los Desagües Norte Moyano que atraviesa la ciudad y Sur Moyano que pasa al sur de ella (Figura 2).

El departamento Rivadavia tiene un 63% de población urbana. Su ciudad principal es la capital, Rivadavia, ubicada entre los Canales de riego Rama Mundo Nuevo y Arboles Rama Costa. Al este de la ciudad nacen los Desagües Norte y Sur San Isidro.

El departamento San Martín tiene un 71 % de población urbana, nucleada principalmente en las ciudades de San Martín y Palmira. La ciudad capital tiene al oeste el Canal Montecaseros, del cual nacen, en las cercanías de la ciudad, los Canales Norte y Sur Alto Verde. Al norte de la ciudad pasa el Desagüe Santa Rita-Las Lagunas y al sur el Desagüe Cañada del Moyano. La ciudad de Palmira está limitada al noroeste por el río Mendoza y al sudeste por el Canal de riego Carril Chimbas.

El tratamiento de las aguas cloacales de las ciudades de los tres departamentos es diferente según lo indicado por los responsables del mismo. Las aguas cloacales de la ciudad de Junín son tratadas en forma primaria dentro de las viviendas, luego reciben un tratamiento secundario en la planta (zanja de oxidación) y finalmente los efluentes son reusados para el riego de cultivos (actualmente álamos).

La ciudad de Rivadavia descarga sus aguas cloacales sin tratamiento a un colector que las traslada a un campo de derrame para su reuso en riego de forestales y totora. Este sistema será próximamente modificado ya que se está construyendo una planta de tratamiento

primario y secundario (lagunas aeróbicas y anaeróbicas) y los efluentes una vez tratados serán reutilizados para riego.

La ciudad de San Martín posee una planta de tratamiento primario cuyo funcionamiento es deficiente y por lo tanto se iniciará próximamente la construcción de una nueva planta que incluirá tratamiento secundario. Actualmente los efluentes son volcados a un colector de desagües, a través de un convenio OSM - DGI, y finalmente a un campo de absorción. Otra ciudad importante del departamento San Martín es Palmira, ésta posee una planta de tratamiento secundario (lagunas) de reciente construcción y reutiliza sus efluentes a través del riego.

Las plantas de tratamiento de estas ciudades pueden recibir descargas de las industrias que hayan sido autorizadas y cuyos efluentes cumplan con las características indicadas en Tabla 2.6.

Las restantes poblaciones ubicadas en el área de riego no tiene sistemas cloacales y sus aguas negras son tratadas en pozos sépticos individuales, con el consiguiente riesgo de contaminación de las aguas subterráneas.

A partir del análisis de la información obtenida, se puede concluir que la descarga de efluentes a la red, de mayor importancia, es la de la ciudad de San Martín en el colector de desagües Santa Rita - Las Lagunas, ya que el vuelco de la ciudad de Rivadavia se realiza en un pequeño tramo hasta la finca de reuso, y las ciudades de Junín y Palmira reúsan sus efluentes en cultivos que están junto a sus plantas de tratamiento.

Para la realización de este estudio no se contó con la posibilidad de tomar muestras de las descargas de las redes colectoras o plantas de tratamiento a la red de riego. Sin embargo, se obtuvieron los datos de análisis realizados en muestras de las descargas del establecimiento depurador de Junín, de la planta depuradora de San Martín y de la red colectoras de Rivadavia en el año 1993, los cuales se presentan en las Tablas 2.7, 2.8 y 2.9, respectivamente. La comparación de estos datos con la composición típica de efluentes domésticos sin tratamiento y con tratamiento primario y secundario (Tabla 1.5) muestra que en su mayoría, para las variables incluidas en la tabla, los valores están dentro de los rangos comunes para el tipo de efluente considerado. Si se realiza la comparación de los datos respecto a la composición típica de efluentes sin tratar (para comparar los efluentes de las tres ciudades para todas las variables presentadas en la Tabla 1.5) se observa que las características comunes de los efluentes de estas ciudades son: alto contenido de sólidos totales; contenido medio de nitrógeno amoniacal; bajo contenido de fósforo; contenidos altos de potasio, calcio y magnesio; concentraciones medias de sodio y cloruros; alcalinidad de media a alta y pH de medio a bajo.

Considerando las variables analizadas en las muestras de las descargas y las indicadas para caracterizar la composición típica de los efluentes (Tabla 1.5), las variables a analizar según esta fuente, son: Sólidos Totales, Total Sólidos Disueltos, DBO, DQO, COT, Oxígeno Disuelto, Nitrógeno total, amoniacal, orgánico, nitratos, nitritos, fósforo, cloruros, calcio,

magnesio, sodio, potasio, sulfatos, alcalinidad, grasa, pH, RAS, boro, CE, dureza, sulfatos, coliformes totales. Si además se tiene en cuenta lo sugerido en Tabla 1.4 para la selección de variables en aguas con contaminación municipal y cloacal se pueden adicionar las siguientes variables: temperatura, color, olor, potencial redox (Eh), sílice, flúor, cobre, hierro, plomo, mercurio, aceites e hidrocarburos, solventes orgánicos, fenoles y surfactantes. El total de variables a analizar según esta fuente se presenta en Tabla 2.2.

Contaminación industrial

Las industrias ubicadas en el área de riego son setecientas (700), distribuidas por departamento de la siguiente forma: Junín (71), Rivadavia (202) y San Martín (427). Las ramas presentes son: elaboración de alimentos y bebidas (carne, pescado, frutas, legumbres, hortalizas, aceites y grasas, productos lácteos, productos de molienda y bebidas); fabricación de productos textiles, de prendas de vestir y de productos de cuero; producción de madera y corcho, fabricación de papel y de productos de papel; editoriales, imprentas y otros; fabricación de sustancias y productos químicos; fabricación de productos de caucho y plástico; fabricación de productos minerales no metálicos; fabricación de metales básicos y de productos elaborados de metal; fabricación de motores, equipos y suministros eléctricos; fabricación de instrumentos médicos, ópticos y de precisión; fabricación de vehículos automotores y autopartes y fabricación de muebles.

Las industrias que predominan son las agroindustrias que representan más del 40 % de las actividades económicas censadas (Tabla 2.10) y dentro de éstas se destacan las bodegas que elaboran vino, las cuales representan el 67% de los establecimientos agroindustriales del área. En orden de importancia le siguen las industrias de elaboración, conservación y envasado de frutas, legumbres y hortalizas (13,6%) y luego las bodegas que fraccionan el vino (10,6%).

Las bodegas elaboradoras tienen un período de procesamiento corto, el cual se extiende desde febrero a abril, a diferencia de las bodegas fraccionadoras que operan durante todo el año. Las industrias que procesan frutas y hortalizas trabajan desde noviembre o diciembre hasta abril - mayo, con frutas de carozo (damasco y durazno) y en julio - agosto con tomate y pimienta. Por su parte las industrias que elaboran aceitunas operan desde abril a junio.

Las industrias vuelcan sus efluentes a terrenos propios, desagües, cauces de riego y colectores de drenaje. Según una encuesta realizada por el DGI (Kotlik, 1988), en el área de riego del Tunuyán inferior, más de un 50 % de las industrias descargan los efluentes a terrenos propios y más de un 30 % lo hacen a desagües y colectores de drenaje. Frecuentemente estas descargas se realizan sin tratar, sin embargo, actualmente muchas empresas están construyendo sus plantas de tratamiento. Las industrias deben estar autorizadas por el DGI para descargar en cauces públicos y sus efluentes deben cumplir con las características presentadas en Tabla 2.11. La distribución espacial de las industrias por fracciones censales

para cada departamento del área de riego se presenta en la Tabla 2.12. La Figura 4 muestra las fracciones censales por departamento, comprendidas en el área de riego.

Debe mencionarse también, entre las actividades industriales, la actividad petrolera que se desarrolla aguas arriba del dique Tiburcio Benegas, cuyos derrames en algunas ocasiones han llegado hasta el primer tramo de la red de riego pudiendo contribuir a la contaminación de las aguas de riego.

La imposibilidad de tomar muestras en las descargas industriales, de la misma forma que para la estimación de la contaminación urbana, fue subsanada a través de datos existentes, los cuales se presentan en la Tabla 2.13. Esta tabla presenta las características de los efluentes de las principales agroindustrias, a partir del análisis de gran cantidad de muestras tomadas por el DGI en puntos de vuelco de industrias que descargan sus efluentes sin tratar a los colectores. Los efluentes de las bodegas se destacan por el alto contenido de materia orgánica que se refleja en los niveles de DBO y alto contenido de sales mostrado por los valores de CEA y además el aporte de acidez al cuerpo receptor motivado por la presencia de los ácidos acético y tartárico. Los efluentes de las plantas procesadoras de frutas y verduras y las elaboradoras de aceitunas también aportan importantes contenidos de materia orgánica y estas últimas descargan efluentes con altas concentraciones de cloruros y sodio. Otros estudios realizados en el área indican que los efluentes de las bodegas contienen también concentraciones importantes de cloruros, boro y de metales pesados como manganeso y cadmio.

A partir de la información presentada, se puede concluir que las variables sugeridas para evaluar la contaminación del agua del área, considerando esta fuente son, en forma sintética, las siguientes: DQO, DBO, CEA, pH, sodio, potasio, calcio, magnesio, cloruros, sulfatos, bicarbonatos, boro, manganeso, cadmio. En forma más amplia pueden considerarse también todas las variables mencionadas en Tabla 1.6 para industrias procesadoras de alimentos y de extracción de petróleo y refinería. Esta lista es trasladada a la Tabla 2.2 para la determinación de las variables para la evaluación de la contaminación del agua.

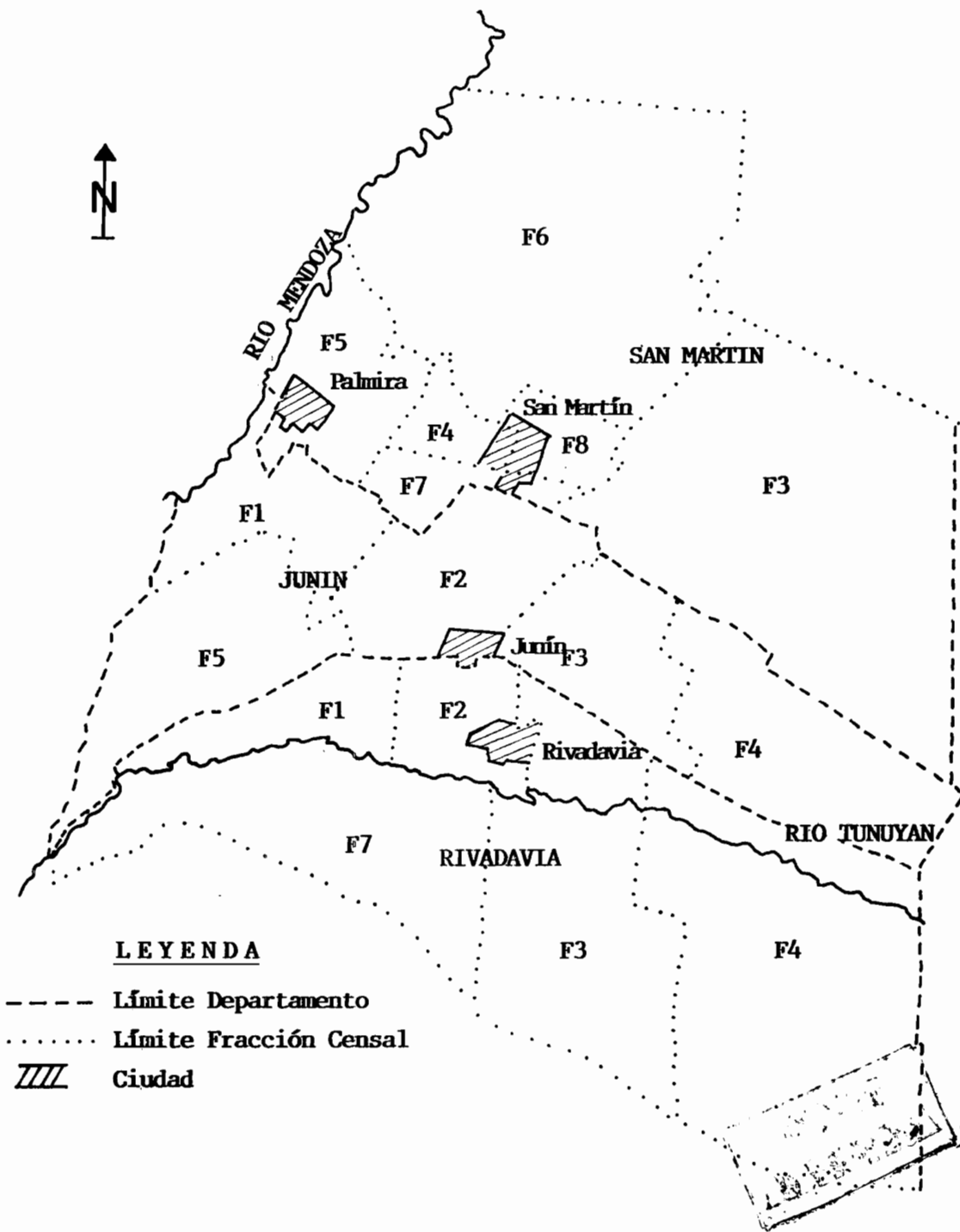


Fig. 4. Fracciones censales por departamento comprendidos en el área de riego de la cuenca media e inferior del río Tunuyán

Contaminación agrícola

La actividad agrícola de regadío es el motor de desarrollo del área bajo estudio. Los principales cultivos mencionados más arriba se distribuyen en los distintos canales regados, según indica la Tabla 2.1.

En la provincia de Mendoza se utilizaron en el año 1994, 36.449 tn de productos agroquímicos, de los cuales el 90,2 % fueron fertilizantes y el 9,8 %, pesticidas. La utilización de fertilizantes es de 121,8 kg/ha promedio para los oasis regados. Los fertilizantes más usados son los nitrogenados (52,6%) y los nitrofosfatados (29,3%) y por último están las mezclas (10%) y otros, como foliares, potásicos, nitropotásicos, fosfatados y con micronutrientes (8,1%).

Los fertilizantes nitrogenados tales como úrea, sulfato de amonio y sulfonitrato de amonio se aplican a razón de 300 a 400 kg/ha-año, en varias aplicaciones luego de la brotación de la vid. La aplicación de fertilizantes combinados como el sulfato de amonio y los triples 15 y 19 se realiza a razón de 250 kg/ha en dos aplicaciones, una en febrero y otra en agosto. Se realiza en postcosecha, antes de la caída de hojas, otra aplicación que puede ser de fertilizante nitrogenado o fosforado.

La lista de los plaguicidas utilizados en los principales cultivos de la provincia se presenta en la Tabla 2.14. Los más usados son los levemente tóxicos: clase D (77,9%) y con menor importancia se aplican los moderadamente tóxicos: clase C (9,7%), los muy tóxicos: clase B (7,6%) y los extremadamente tóxicos: clase A (4,8%). Predomina el uso de fungicidas e insecticidas, luego herbicidas, acaricidas y otros.

Respecto a la composición química, considerando fertilizantes y pesticidas, la mayor cantidad aplicada corresponde a las sales inorgánicas (45 %), luego organofosforados (14,2 %), hidrocarburos (14,2 %), fosfitos (7,2 %), carbamatos (7,4 %), piretroides (0,6 %), clorados (0,3%), organoestañados (0,2 %) y otros (10,9 %).

La definición de las variables a incluir en la evaluación, cuyo origen es la contaminación agrícola se presenta en Tabla 2.2, para lo cual se han considerado las sugerencias de la Tabla 1.4. La evaluación de la contaminación por plaguicidas requiere la realización de una selección, dada la amplia variedad de productos utilizados en el área y el alto costo de este tipo de análisis. Los criterios a tener en cuenta pueden ser: la cantidad global utilizada en el área, los efectos nocivos sobre el hombre y el ambiente; y la persistencia del ingrediente activo y sus metabolitos. La información aportada por la Tabla 2.14 no es suficiente para realizar esta selección ya que para obtener un lista más ajustada a la situación actual del área, se necesitan datos sobre las cantidades totales de agroquímicos aplicados en el área, considerando concentración y frecuencia y realizar un relevamiento de las características de los productos, principalmente la toxicidad sobre el hombre pero también sus efectos sobre diversos seres vivientes, la estabilidad y movilidad de los ingredientes activos y sus metabolitos, y sus efectos acumulativos.

Medio apropiado a muestrear. Paso 4

El medio seleccionado para muestrear fue el agua. Las razones para esta elección son su adaptación a los objetivos de este programa, que persigue la obtención de un diagnóstico general de la calidad del recurso y su relación con las fuentes de contaminación; es el medio más comúnmente utilizado; sus datos se pueden comparar con los de otras áreas de riego y presenta mayor facilidad de operación (muestreo y análisis).

El análisis de sedimentos se puede considerar para estudios posteriores que incluyan variables ausentes en éste, como metales pesados y plaguicidas (especialmente organoclorados y organofosforados). Además, este tipo de análisis sólo se puede realizar en los canales que no están revestidos. Por su parte, el análisis de biota no resulta adecuado para este sistema de riego ya que las características físicas de la red y la periodicidad de entrega del agua reducen la vida acuática a unas pocas especies.

VARIABLES A INCLUIR EN LA EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA. PASO 5

Los análisis realizados en las muestras se dividieron en físico-químicos, cationes y aniones y bacteriológicos. Los físico-químicos son: temperatura (a campo y en laboratorio), pH, sólidos (totales, fijos, volátiles y sedimentables), caracteres organolépticos (turbidez, color y olor), oxígeno disuelto, demandas química y biológica de oxígeno (DQO y DBO), nitrógeno y fósforo total y conductividad eléctrica. Los análisis de cationes y aniones son: calcio, magnesio, sodio, potasio, bicarbonatos, cloruros, sulfatos, nitratos y nitritos. Los bacteriológicos comprenden el recuento de bacterias coliformes (N.M.P./100 ml) y el recuento de bacterias mesófilas aerobias (U.F.C./ml) (Tablas 2.15, 2.16, 2.17).

Las sugerencias que se realizan al aplicar el flujograma propuesto llevan a tener en cuenta las siguientes consideraciones. Las variables a incluir en el programa de evaluación según las Tablas 1.1, 1.2 y 1.3, de acuerdo a los usos del agua del área (irrigación y recreación y salud), son: temperatura, olor, color, turbidez, conductividad eléctrica, sólidos suspendidos, total de sólidos disueltos, pH, oxígeno disuelto, carbono orgánico total, clorofila, sodio, calcio, magnesio, carbonatos, bicarbonatos, cloruros, sulfatos, nitratos (N-NO₃), amonio (N-NH₄), fosfatos (P-PO₄³⁻), potasio, boro, fluoruros, RAS, metales pesados (aluminio, cadmio, cromo, cobre, hierro, mercurio, manganeso, níquel, plomo, zinc), arsénico y selenio, aceites e hidrocarburos, surfactantes, coliformes fecales, coliformes totales y patógenos. La lista de variables a evaluar según los usos del agua es presentada en Tabla 2.2.

Esta lista se confronta, posteriormente, con la normativa vigente en el área para verificar si se han incluido todas las variables que la misma exige y adicionar las que corresponda. Se han utilizado las Normas de Calidad de Aguas de la provincia de Mendoza (Tabla 2.18) en las categorías riego y actividades recreativas con contacto directo.

Las normas consideradas no son aún de aplicación en la Provincia y han sido elaboradas durante el Taller sobre Normas de Calidad de Aguas organizado por el EPAS, a partir del consenso de diversas instituciones relacionadas con los recursos hídricos. Posteriormente han sido ajustadas por el EPAS considerando dos criterios fundamentales: a) las directrices de OMS del año 1993 y b) los valores de los variables de calidad de agua factibles de lograr a partir de las características de la fuente de provisión de agua y de los medios de captación y tratamiento locales. Dichas normas forman parte de los contratos de concesión de las plantas de provisión de agua potable y tratamiento cloacal firmados recientemente en la provincia.

Las normas de calidad de aguas sugeridas para la provincia de Mendoza, indican para las aguas de riego las siguientes variables: aluminio, berilio, hierro total, zinc, arsénico, cadmio, cobalto, cobre, cromo, fluoruros, litio, manganeso, níquel, plomo, selenio, coliformes fecales. Para el contacto directo: DBO, oxígeno disuelto, pH, arsénico, cadmio, cianuros, cobre, cromo, fluoruros, mercurio, selenio, coliformes fecales. El resultado de dicha confrontación es la lista de variables a incluir en la evaluación de la calidad del agua en función a sus usos y considerando las normas (Tabla 2.2).

La inclusión de variables conforme a las fuentes de contaminación, permitiría agregar a las indicadas, las siguientes: dureza, DQO, sulfuros, potencial redox, total sólidos, nitrógeno total, nitrógeno orgánico, sílice, grasas, solventes orgánicos, fenoles y plaguicidas según lo sugieren las Tablas 1.4 y 1.6.

Por lo tanto considerando los usos del agua, las normas de aplicación en el área y las fuentes de contaminación presentes, la lista de las variables a evaluar debería ser similar a la que se presenta en la última columna de Tabla 2.2. Esta lista es extensa, dado el nivel preliminar de este estudio, relevamientos más detallados de los usos y de las fuentes de contaminación permitirán reducirla o aplicarla en forma completa sólo en algunos sectores, mientras que en otros se analiza una selección de las variables mencionadas.

Puntos y frecuencia de muestreo. Paso 6

Las muestras de agua se tomaron mensualmente de seis canales secundarios, en cabeza, medio y pie, para conocer la variación de la calidad del agua que escurre por la red de riego. Los canales y sus puntos de muestreo son: Independencia Rama Chimbas (1-14-15), Montecaseros (1-10-13), Norte Alto Verde (1-10- 12), Sur Alto Verde (1-10-11), Viejo Retamo (1-4-8), Nuevo Retamo (1-4-9), Arboles Rama Costa (1-6) y Rama Mundo Nuevo (1-7). Y se tomaron muestras mensuales en el dique Tiburcio Benegas, derivador de las aguas hacia la red troncal de canales de riego, para conocer la calidad del agua que entra al sistema (Punto 1).

También se tomaron muestras mensuales en los seis grandes colectores de desagües, en cabeza, medio y pie, para conocer la calidad de las aguas que sale del sistema. Los

colectores de desagües y sus puntos de muestreo, de norte a sur, son: Barriales (26), Santa Rita Las Lagunas (24-25), Cañada del Moyano (21-22-23), Sud Moyano-General Retamo (19-20), San Isidro (18) y Recuero (16) (Figura 2).

La ubicación de los puntos de muestreo debe considerar los usos del agua, las fuentes de contaminación y la posibilidad de medir las variables hidrológicas en el mismo sitio que se toman las muestras.

El riego es el principal uso del agua, por lo tanto la ubicación de los puntos en cabeza, medio y pie de los canales y la distribución esparcida de los sitios en el área, resulta adecuada para evaluar la calidad del agua. Sin embargo, deben ubicarse sitios de muestreo en los puntos donde se reutilizan aguas de desagüe para el riego, con el fin de controlar que la calidad sea adecuada para este uso y evitar así el deterioro de los suelos del área.

La ubicación de los puntos de muestreo respecto a la contaminación urbana es adecuada ya que se han establecido dos puntos en el colector Santa Rita- Las Lagunas (puntos 24 y 25) que recibe las aguas residuales de la ciudad de San Martín, identificada en el paso 3 como la principal fuente de contaminación urbana a las aguas superficiales del sistema de riego. No obstante, sería conveniente establecer un punto de muestreo en la cabeza del colector, antes de la descarga de los efluentes municipales, a los fines de comparar la calidad del agua de este desagüe antes y después de la ciudad de San Martín. Esto es válido hasta que comience a funcionar la nueva planta de tratamiento de la ciudad.

Respecto a las industrias, sería conveniente definir una mayor cantidad de puntos de muestreo que permitan conocer mejor las modificaciones que las descargas industriales producen en la calidad del agua. Para esto, es necesario conocer con más detalle los sitios de descarga industriales, tarea que ya se está llevando a cabo en el área.

Respecto a la contaminación por la actividad agrícola es válido lo que se ha mencionado para los usos del agua, ya que el área es homogénea en cuanto a la distribución de los cultivos, según se aprecia en la Tabla 2.1. Por lo tanto, la ubicación de los puntos de muestreo es adecuada para un estudio general de estas características.

Por último, debe intentarse la coincidencia de los puntos de muestreo con los lugares apropiados para la medición de caudales. En el área del Tunuyán inferior se están construyendo pequeñas estructuras que facilitan la medición de caudales. Por lo tanto, en estudios posteriores convendrá realizar un relevamiento de dichos sitios con el fin de definir la conveniencia de ubicar en ellos los sitios de toma de muestras de calidad de aguas.

La frecuencia de muestreo seleccionada fue mensual, período que suele resultar apropiado para estudios generales, pero que puede resultar escaso para el análisis de algunas variables. Sería conveniente, en ciertos períodos, tales como los de mayores descargas industriales (ej. febrero a abril por la actividad de las bodegas) y en determinados puntos de muestreo (ej. los ubicados aguas abajo de descargas industriales) incrementar la frecuencia a muestreos quincenales.

Cabe recordar, que la determinación de los puntos y la frecuencia de muestreo está frecuentemente condicionada por la disponibilidad de recursos humanos, técnicos y financieros.

Toma de muestras, medición de variables hidrológicas y análisis de laboratorio. Paso 7

La toma de muestras se realizó con botellas de vidrio a escasa profundidad de la superficie y en un solo punto de la sección del canal, ya que no se presentan diferencias considerables ni en su profundidad ni en su ancho. Las tomas se realizaron siguiendo un recorrido que permitiera tomar todas las muestras del área de riego en el mismo día.

Cuando se tomaron las muestras no se realizaron mediciones de variables hidrológicas, pero existen datos de caudales (Tablas 2.19 y 2.20) que otorgan una visión general del comportamiento de esta variable a lo largo del año en los canales de riego y en los colectores de desagüe, respectivamente. La relación variables de calidad del agua - caudal no puede establecerse en forma estricta, a los fines de identificar posibles fuentes de contaminación o para estimar las cantidades de contaminantes presentes, ya que las mediciones fueron realizadas principalmente en canales matrices y son valores promedio pudiendo presentar diferencias respecto al caudal en el momento de toma de las muestras.

Las muestras fueron analizadas en los laboratorios de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad de Cuyo. Los métodos utilizados fueron:

Temperatura: con termómetro a campo

pH: con papel indicador

Sólidos totales, fijos y volátiles: desecación en estufa a $102 \text{ }^\circ\text{C} \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ hasta peso constante (AOAC, 1984)

Sólidos sedimentables en 10' y en 2 hs: en cono de Inhoff

Caracteres organolépticos (turbidez, color y olor): método comparativo

Oxígeno disuelto: por método Winkler

DQO: por oxidación con dicromato en medio ácido

DBO_{5, 20}: por incubación (AOAC, 1984)

Nitrógeno: por método Kjeldahl

Fósforo: por espectrofotómetro

CEA: por conductímetro

Calcio: por método gravimétrico

Magnesio: por método gravimétrico

Sodio: por fotometría de llama

Potasio: por fotometría de llama

RAS: por cálculo con los datos de sodio, calcio y magnesio

Bicarbonatos: por método titrimétrico

Cloruros: por el método de Mohor

Sulfatos: por método gravimétrico

Nitratos: por espectrofotometría

N- NO_3^{2-} : cálculo con los datos de nitratos

Nitritos: por espectrofotometría

Recuento de bacterias coliformes o colimetría: por el método del Número Más Probable (NMP)

Recuento de bacterias mesófilas aerobias o Unidades Formadoras de Colonias: por el método de recuento en placa

Estos laboratorios tienen una trayectoria reconocida que avala la calidad de los análisis realizados en ellos. No obstante esto, se realizó a modo de ejemplo un ejercicio de validación de los datos para algunos puntos de muestreo (1-10-11-12-13-21-22-23-24-25) respecto a la sumatoria de cationes y aniones (Tabla 2.21) y la relación TDS - CE (Tabla 2.22). La diferencia entre la suma de aniones y cationes de las muestras de agua de los puntos situados en los canales de riego es, en su mayoría, superior al 10 %, valor por encima del cual el balance se considera no satisfactorio. Esto evidencia errores en la toma, preservación, almacenamiento o análisis de las muestras o la falta de determinación de algún ion, mientras que en los colectores de desagüe la diferencia entre aniones y cationes se mantiene por debajo del 10%, mostrando una mayor precisión en los análisis realizados. Respecto a la relación TDS / CEA, se obtiene un valor medio de K para los canales de riego de 0,80 y para los colectores de desagüe de 0,85, con un valor promedio total de 0,83. Estos valores de K son aceptables. Los valores de sólidos totales disueltos se obtuvieron sumando el total de cationes y aniones en mg/l.

Estado y nivel de contaminación de las aguas. Paso 8

Los datos de los análisis de las muestras de agua fueron confrontados con las Normas sobre Calidad de Aguas de Mendoza para determinar el estado y nivel de contaminación. Dichas normas (Tabla 2.18) presentan valores recomendados para cuatro categorías: aguas cuyos usos son provisión de agua potable, riego y actividades recreativas con contacto directo y aptas para la vida acuática.

Los datos de los análisis de las muestras de agua fueron confrontados con los valores de las cuatro categorías. El uso de las aguas analizadas es la irrigación pero se consideró adecuado comparar los datos con los límites para la provisión de agua potable, por ser los valores más estrictos para evaluar la calidad del agua; con los de riego por ser el uso principal de las aguas; con los de las actividades recreativas con contacto directo por ser éste uno de los usos del recurso aguas arriba del área de riego y encontrarse estas aguas en contacto directo con la gente y para la vida acuática porque ésta siempre se debe preservar independientemente del uso de las aguas. Todas las variables medidas fueron consideradas en este análisis, con la excepción de la DBO debido a la escasa cantidad de determinaciones realizadas. Pero cabe considerar, que los datos de cationes y aniones analizados en las muestras de los canales de riego deben considerarse con cierto cuidado, ya que su validación ha dado resultados no satisfactorios.

Las normas para la provisión de agua potable consideran las siguientes variables, dentro de las que han sido analizadas en las muestras de agua de este estudio: pH, CEA (umhos/cm), cationes y aniones (meq/l): Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ , Cl^- , SO_4^{-2} , NO_3^- y NO_2^- y coliformes totales (NMP/100ml). Los resultados de la comparación muestran que dentro de las variables analizadas en las aguas de los canales de riego sólo se observan problemas de importancia en la calidad bacteriológica del agua, presentándose valores muy altos en el mes de setiembre principalmente. Entre el resto de las variables se pueden mencionar el pH con valores inferiores a 6,5, principalmente desde diciembre a abril y el contenido de sulfatos con valores levemente superiores al límite máximo para agua potable durante todo el año. Por su parte las aguas de los colectores de desagües superan los límites máximos de la mayoría de las variables, se observan por lo tanto valores de pH inferiores al rango adecuado, principalmente en los meses de diciembre a abril. Y niveles altos durante todo el año, de CEA, cationes y aniones, con excepción de nitratos y nitritos, aunque algunos colectores durante los meses de marzo a mayo, poseen contenidos de nitritos superiores al límite permisible. El problema más importante en los colectores de desagües es también la presencia de coliformes en valores superiores a los permitidos durante todo el año y con valores extremos en el mes de setiembre (2.400 a 110.000 NMP/100ml).

Las normas para riego no incluyen las variables analizadas en este estudio, por lo cual se consideraron las Directrices para interpretar la calidad de las aguas para el riego de FAO (Tabla 1.9), teniéndose así en cuenta los efectos de la calidad del agua sobre los suelos y el rendimiento de los cultivos del área. El contraste de los datos con estas directrices muestra que las aguas de los canales de riego son adecuadas para su uso. La única restricción que poseen es por salinidad ligera a moderada.

En los colectores de desagües se observa restricción para su reutilización como aguas de regadío: por salinidad ligera a moderada y severa en algunos puntos (18, 21, 26). En algunos colectores de desagües se presentan también restricciones debido a la presencia de ciertos iones como sodio de carácter ligera y en una parte del año; cloruros principalmente de forma ligera a moderada y también severa en algunos puntos; y por último presencia de nitratos sólo en algunos meses en los puntos 16, 21 y 23.

Estas directrices no toman en cuenta la calidad bacteriológica, por esto se ha considerado el dato de coliformes fecales para riego irrestricto de cultivos, el cual no debe superar 1000/100ml (Tabla 1.12 Directrices recomendadas sobre calidad microbiológica de las aguas residuales empleadas en agricultura) para comparar las muestras de agua. Esta consideración debe tomarse como un juicio muy estricto ya que los datos se refieren a coliformes totales y las directrices sólo a coliformes fecales. Se encontró que en general las aguas de los canales de riego no superan este valor, salvo las muestras 7, 9 y 15 en el mes de setiembre y la 8 en los meses de setiembre y octubre. Algunos puntos de muestreo de los colectores de desagües también superan el límite permitido sólo en el mes de setiembre, pero otros presentan valores altos durante gran parte del año (23, 24, 25, 26).

Las normas consideradas para agua potable y riego no incluyen la DQO, por esto se tomó el criterio de Chapman y Kimstach (1992) que menciona que las aguas naturales no

poseen más de 20 mg/l de DQO y por lo tanto valores superiores indican contaminación. En base a este criterio las muestras analizadas tanto en canales de riego como en desagües presentan contaminación en gran parte del año con valores extremos en setiembre (100 a 500 mg/l). La DQO permite presumir problemas vinculados con la presencia de materia orgánica en las aguas y ante la ausencia de datos sobre DBO es un buen indicador, a pesar de medir contaminantes orgánicos e inorgánicos oxidados químicamente.

Las normas para actividades recreativas con contacto directo consideran entre las variables analizadas en las muestras, sólo el pH y el contenido de oxígeno disuelto (mg/l). Las aguas analizadas poseen en la mayor parte del año valores de oxígeno disuelto inferiores al límite indicado de 5 mg/l, presentándose los menores valores en los colectores de desagües. El pH ya fue considerado entre las variables para agua potable.

Respecto a la vida acuática las normas consideran, dentro de las variables analizadas, pH, oxígeno disuelto y nitritos. El contenido de nitritos se presenta con valores superiores al límite en todas las muestras de agua durante todo el año.

Sintetizando puede indicarse que dentro de las variables físico-químicas en las muestras analizadas, se destacan los valores de DQO y oxígeno disuelto. Los altos niveles de DQO indican contaminación, principalmente por materia orgánica, durante todo el año con valores extremos en setiembre, tanto en canales de riego como en colectores de desagües. A su vez, los valores de oxígeno disuelto están por debajo del límite compatible con la vida acuática durante la mayor parte del año.

Los análisis de cationes y aniones permiten estimar que las aguas de los canales de riego sólo poseen ligera a moderada restricción para irrigación debido a su salinidad; mientras que las aguas de los colectores de desagües pueden presentar restricciones por salinidad y presencia de sodio y cloruros, para su reutilización en riego de cultivos. A su vez los valores de nitritos superan los límites permisibles para mantener la vida acuática, en canales de riego y colectores de desagües.

Por último, la calidad bacteriológica de las aguas posee un deterioro que se pone de manifiesto por los niveles altos en el recuento de coliformes, problema que se agudiza en setiembre al iniciarse la temporada de riego. Esto impide la utilización del agua como agua potable durante todo el año, uso al que no está destinada pero cuyo criterio podría extenderse, ya que no se poseen límites para su comparación, al uso doméstico y a las actividades recreativas con contacto directo. Además el deterioro bacteriológico restringe la posibilidad de utilizar las aguas de algunos de los canales para el riego de cultivos que se consumen crudos, problema que se concentra en los meses de setiembre y octubre y que se extiende a gran parte del año en los colectores de desagües.

Interpretación de los datos. Paso 9

El breve lapso para la realización de este estudio obligó a la selección de una subárea dentro del área de riego y de las variables más representativas de su contaminación, a los efectos de la interpretación de los análisis de calidad del agua. La subárea seleccionada incluye los canales de riego Montecaseros (1-10-13), Norte Alto Verde (1-10-12), Sur Alto Verde (1-10-11) y los colectores de desagüe Cañada del Moyano (21-22-23) y Santa Rita-Las Lagunas (24-25). Para esta selección se consideró la presencia de las tres fuentes de contaminación identificadas, ya que el colector Santa Rita-Las Lagunas recibe las aguas residuales de la ciudad de San Martín y el colector Cañada del Moyano es uno de los principales receptores de las descargas industriales del área. Desde el punto de vista agrícola, los canales de riego seleccionados distribuyen agua a zonas representativas del área bajo estudio y lo mismo ocurre con los colectores respecto a la recepción de efluentes. Las variables seleccionadas para la interpretación fueron: Sólidos Totales, DQO, Oxígeno disuelto, Nitrógeno, Fósforo, CEA, Sodio, Cloruros y Coliformes totales. Esta selección responde al análisis realizado en el paso anterior respecto al estado de contaminación de las aguas. La representación gráfica de la variabilidad temporal y espacial de los datos se presenta, para los diferentes canales de riego y colectores de desagüe seleccionados, en el apéndice 3.

Sólidos Totales

Los valores de Sólidos Totales en los canales de riego se mantienen durante gran parte del año con valores desde 200 a 2000 mg/l = 0,02 a 0,20 %. Los valores notables se presentan en los meses de setiembre y octubre con valores desde 900 a 9000 mg/l = 0,09 a 0,90 % debido, posiblemente, a la utilización de los canales como sitios de recepción de residuos en general (domiciliarios y otros) en la época de corta del agua, los cuales son arrastrados al iniciarse el ciclo de riego. Si se calcula la relación Sólidos Volátiles/Sólidos Totales se observa que oscila, en estos meses, entre 0,60 y 0,90. Esto permite suponer un posible predominio de sólidos orgánicos respecto a inorgánicos en el agua, si bien los sólidos volátiles pueden incluir no sólo la fracción orgánica sino también parte de la fracción inorgánica.

En los colectores de desagüe, el colector Cañada del Moyano presenta valores de restricción severa en gran parte del año con máximos en los meses de setiembre y octubre y picos en noviembre (22), febrero (21) y abril (23), mostrando así la variabilidad temporal y espacial. Las razones para la obtención de estos datos pueden encontrarse, al inicio del ciclo de riego en la deposición de residuos y en el resto del ciclo, principalmente, en la actividad industrial de la zona. Aguas arriba del punto 21 se reciben descargas provenientes de diversas bodegas elaboradoras de vino. Antes del punto 22 desemboca el colector General San Martín que es receptor de las descargas de diversas industrias, algunas de las cuales son procesadoras de frutas y hortalizas y entre los puntos

22 y 23 se producen descargas de varias industrias entre las que predominan bodegas y frigoríficos. El colector Santa Rita-Las Lagunas presenta valores medios en gran parte del año, elevados en setiembre y octubre y un pico de gran magnitud en abril, que podría originarse en la descarga de efluentes provenientes de bodegas elaboradoras. (Figuras 3.1 y 3.2 del apéndice 3).

Demanda Química de Oxígeno (DQO) y Oxígeno Disuelto

Según Chapman y Kimstach (1992) valores superiores a 20 mg/l indican contaminación de las aguas, este criterio que parecería muy exigente, categoriza a las aguas de canales y colectores en estado de contaminación durante gran parte del año. De la misma forma que ocurre con los Sólidos Totales, el mes de setiembre presenta los mayores valores de DQO debido a que las aguas arrastran en este mes todos los residuos descargados a los canales y colectores durante el período de corta anual del agua.

En los canales de riego se observan también valores altos entre febrero y abril, principalmente en los puntos 10 y 11, que pueden tener origen en descargas de bodegas por presentarse en la época de actividad de estas industrias, aunque es de esperar que estas descargas se produzcan en los colectores de desagüe y no en los canales de riego. A su vez, el colector Cañada del Moyano presenta un pico en febrero en los puntos 21 y 22, en el primero de ellos coincide con el mayor valor de DQO del ciclo y olor a caucho; y en el punto 22, esta muestra de agua posee olor fuerte y color beige muy claro. Su origen puede estar en la descarga de bodegas y frigoríficos que se ubican en el área. El colector Santa Rita-Las Lagunas presenta un valor alto en abril, en el punto 25, muestra que también posee el valor máximo anual de Sólidos Totales, así como color verde y olor a sulfhídrico muy fuerte.

El oxígeno disuelto se encuentra, durante todo el ciclo de cultivo, por debajo de los niveles compatibles con la vida acuática (5mg/l), con escasas excepciones. A su vez, los valores más bajos se presentan en los colectores de desagüe. Su valor baja hasta cero, durante todo el ciclo, en el colector Santa Rita-Las Lagunas, el cual recibe los efluentes municipales. La carga orgánica que recibe este colector, reduce sus niveles de oxígeno disuelto hasta el mínimo, dificultando su capacidad de autodepuración y generando los olores a sulfhídrico detectados (Figuras 3.3 y 3.4 del apéndice 3).

Nitrógeno (N)

Las aguas de los canales de riego y colectores de desagüe no presentan restricciones por presencia de nitratos para el riego de cultivos. Si se considera el Nitrógeno total, los valores registrados en los canales de riego son bajos y los que se presentan en el colector Cañada del Moyano son similares, mientras que en el colector Santa Rita-Las Lagunas los valores son altos durante gran parte del año, su media supera en un 460 % a la del otro

colector. Los valores en este colector están dentro de las concentraciones típicas de efluentes municipales sin tratar o con tratamiento primario (Tabla 1.5) lo que muestra la escasa dilución de los compuestos presentes en los efluentes municipales descargados al colector. En ambos colectores el valor máximo anual (con excepción del punto 24) se presenta en mayo, coincidente con el momento de aplicación de los fertilizantes poscosecha en el cultivo de la vid.

Fósforo (P)

Este nutriente no ha sido considerado en las normas de riego y contacto directo. En general, según Mujeriego (1990) el exceso de fósforo en el suelo no ha llegado a ser un problema por lo tanto no hay directrices para evaluar su concentración. Los valores más altos (0,21 a 4,19 ppm) se presentan en el colector Santa Rita-Las Lagunas y son coincidentes con los valores mínimo y máximo de fósforo total presente en los efluentes de la planta depuradora de San Martín (0,3 a 3,9 mg/l) descargados al colector. Esto muestra, tal como se mencionó para N, la escasa dilución de los compuestos presentes en los efluentes descargados al colector. La concentración de P en este colector supera a la que se presenta en el colector Cañada del Moyano en 2213 %, lo que permite deducir su origen en residuos municipales.

Las concentraciones de N y P, presentes en el colector Santa Rita-Las Lagunas, deben considerarse en forma especial ya que aguas abajo del punto de muestreo 25, se realiza reutilización para riego y la aplicación de estos nutrientes en exceso, por encima de la capacidad de absorción del cultivo y de retención del suelo, pueden llevar a la contaminación de las aguas subterráneas. Un cálculo preliminar permite deducir que esto no ocurrirá con los valores actuales, pero igualmente este tema merece tenerse en cuenta.

Estas dos variables han sido consideradas también porque su relación N/P expresa las posibilidades de eutroficación de un cuerpo de agua, tema preocupante en el área por los inconvenientes que puede ocasionar en la operación del sistema de riego. Valores inferiores a 16/1 son indicativos de condiciones de eutroficación, con excepción de unas pocas muestras los canales de riego y colectores de desagüe presentan valores superiores a 16/1.

Conductividad Eléctrica (CEA)

Las aguas de los canales de riego presentan restricción ligera a moderada por salinidad, según las directrices para interpretar la calidad de aguas para riego (Tabla 1.9). Los valores oscilan entre 1000 y 1500 micromhos/cm, con máximos en la primera parte del ciclo de riego (setiembre a noviembre), de la misma forma que ocurre con los Sólidos Totales y la DQO. No obstante que la restricción es ligera a moderada, debe considerarse que las sales incorporadas al suelo, a través de sucesivos riegos, pueden tener un efecto acumulativo que va deteriorando los suelos paulatinamente.

Las aguas de los colectores de desagüe poseen restricción ligera a moderada y también severa por salinidad, el promedio de los valores de CEA es 123% superior al promedio de los valores de los canales de riego. El colector Cañada del Moyano presenta en los diferentes puntos de muestreo valores similares a lo largo del año, con los mayores valores en la cabeza del colector, que superan en un 22% los valores de medio y pie. A su vez, el colector Santa Rita-Las Lagunas presenta valores inferiores (en un 25%) con un pico en diciembre, que podría originarse en condiciones de funcionamiento de la planta de tratamiento de la ciudad de San Martín. Para poder confirmar esto se debería contar con datos mensuales de las características de los efluentes municipales (Figuras 3.5 y 3.6 del apéndice 3).

Iones: Sodio y Cloruros

Las aguas de riego no tienen restricción para riego por presencia de sodio, medido a través de la RAS, según las directrices para interpretar la calidad de aguas para riego (Tabla 1.9), tampoco presentan restricción para riego por presencia de cloruros, excepto en las muestras de los meses de setiembre y octubre para algunos puntos de muestreo, en los cuales los valores son apenas superiores al límite de no restricción. Tampoco se presentan restricciones por reducción de la infiltración, considerando los valores de RAS y CEA. Cabe recordar nuevamente que estos datos deben ser considerados con cuidado, ya que la validación de los análisis de cationes y aniones dio resultados no satisfactorios para estas muestras.

El agua de los colectores de desagüe no presenta restricciones por infiltración. Posee restricción ligera a moderada por sodio en algunos meses, con valores cercanos al límite de no restricción; y restricción por cloruros, ligera a moderada y severa (principalmente en el punto 21 con un valor promedio de 11,8). Esto podría indicar la existencia de una descarga industrial, situada aguas arriba del punto 21, proveniente de una empresa procesadora de aceitunas, cuyos efluentes tienen alta CEA y elevado contenido de cloruros. Sin embargo, el valor máximo se presenta en diciembre y la descarga de efluentes en marzo-abril (Figuras 3.7, 3.8, 3.9, 3.10, 3.11, 3.12, 3.13 y 3.14 del apéndice 3).

El comportamiento de estos iones a través del periodo de tiempo analizado y a lo largo de los canales y colectores es similar al comportamiento de la Conductividad Eléctrica.

Coliformes Totales

El agua de los canales de riego es apta para irrigación irrestricta de cultivos según las directrices sobre calidad microbiológica de las aguas residuales empleadas en agricultura (Tabla 1.12) que indican valores inferiores a 1000 coliformes/100 ml. Esta consideración debe tomarse como un juicio muy estricto ya que los datos se refieren a coliformes totales y las directrices sólo a coliformes fecales. En cambio, los colectores de desagüe presentan

restricciones en setiembre y mayo, el colector Cañada del Moyano (punto 22); y durante gran parte del año, con valores máximos en setiembre, el colector Santa Rita-Las Lagunas.

La consideración de estos valores es importante ya que después de los puntos de muestreo 22 y 25 se reutiliza el agua para riego de cultivos. Por lo tanto debe tenerse en cuenta el tipo de cultivos a regar y el cumplimiento de normas higiénicas para evitar riesgos a la salud de los trabajadores agrícolas. A su vez, el riesgo de contaminación de los acuíferos es bajo, ya que los organismos patógenos presentes en las aguas de riego generalmente se acumulan en la parte superior del perfil del suelo, donde quedan retenidos.

Informe sobre el programa de evaluación de la contaminación del agua del área de riego. **Paso 10**

El informe puede contener tres secciones, la primera brindando una síntesis de las características del área de riego de la cuenca inferior del río Tunuyán, los usos del agua, las fuentes de contaminación y la legislación vigente de aplicación a los recursos hídricos en la provincia de Mendoza. La segunda presentando las características del programa de evaluación de la contaminación del área de riego (objetivos, puntos y frecuencia de muestreo, variables, formas de toma de muestras y métodos de análisis), los resultados de los análisis realizados y su interpretación. Y en la última sección, las conclusiones del estudio y las recomendaciones que puedan ser de utilidad para la realización de futuras evaluaciones de la contaminación del agua del área y para la gestión de los recursos hídricos.

Los temas considerados en las dos primeras secciones del informe ya han sido presentados en los pasos anteriores de este Capítulo VI, Estudio de caso y en el Capítulo II, Revisión bibliográfica; y la tercera sección, la cual comprende las conclusiones y recomendaciones del estudio de evaluación de la contaminación de la cuenca inferior del río Tunuyán se presenta en el Capítulo VI, Conclusiones y recomendaciones.

CAPITULO VII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones y recomendaciones generales

Conclusiones

La complejidad de los procesos que lleva en sí la contaminación del agua de un sistema de riego, señala la conveniencia de que la evaluación se realice ordenadamente, mediante el flujograma propuesto, el cual determina claramente los pasos a seguir, a partir de la adecuada determinación de los objetivos del programa.

Las principales características de un programa de evaluación de la contaminación del agua son, además de los objetivos, el medio a muestrear, las variables a analizar, los puntos y la frecuencia de muestreo. El conocimiento de los usos del agua y las fuentes de contaminación existentes en el área, a través de la recopilación de información disponible o la generación de datos, es esencial para definir estas características.

La calidad de los datos aportados por un programa de evaluación de la contaminación está dado por el cumplimiento de las recomendaciones sobre toma, preservación y almacenamiento de las muestras, así como la correcta aplicación de los métodos de análisis indicados por los organismos especializados.

La validación de los resultados de los análisis debe realizarse, aun cuando se hayan cumplido los requisitos mencionados en el párrafo anterior, considerando como mínimo el balance iónico y la relación sólidos totales disueltos/conductividad eléctrica.

La medición de las variables hidrológicas debe realizarse en el mismo momento y lugar de la toma de las muestras, para comprender el comportamiento del cuerpo de agua y determinar posibles fuentes de contaminación a través del estudio de sus relaciones con las variables de calidad.

La identificación de normas de calidad de agua de aplicación en el área y, en caso de inexistencia o desactualización de éstas, de directrices adecuadas es fundamental para determinar, a través de la comparación de los análisis de las muestras de agua con los valores exigidos, las restricciones para los diferentes usos del agua, y el estado y nivel de contaminación.

Para determinar las causas del deterioro de la calidad y la adecuación del agua a los diferentes usos se necesita interpretar los datos, considerando la variabilidad en el tiempo y el

espacio, las relaciones con las variables hidrológicas y los vínculos con las fuentes de contaminación y el contraste con los usos del agua para determinar su adecuación.

Por último, es fundamental la elaboración de un informe concreto que contribuya a brindar pautas para facilitar la toma de decisiones por parte de las autoridades que gestionan el agua y que permita la creación de conciencia de todos los actores sobre la naturaleza del problema, contribuyendo así a la preservación de los recursos hídricos.

Recomendaciones

Se recomienda:

Expresar los objetivos en forma clara y concreta, de manera que permitan precisar los resultados que se desea obtener al término de la ejecución del programa.

Recopilar información de los usos del agua en forma exhaustiva, para que se aporten datos precisos a los fines de determinar aspectos importantes del programa, tales como variables a analizar, puntos y frecuencia de muestreo.

Realizar un estudio de las fuentes de contaminación del área, incluyendo, si fuera necesario, la toma de muestras de las descargas de las principales fuentes para determinar más adecuadamente las variables a analizar.

Seleccionar las variables a incluir en la evaluación de la contaminación del agua en función de los usos del agua, las fuentes de contaminación y la legislación de aplicación en el área; priorizando los datos surgidos de la información disponible en el área.

Realizar una selección de los plaguicidas, en las áreas de riego en las cuales se aplique una gran variedad, con el fin de considerar los principales contaminantes de la actividad agrícola. Los criterios para la selección pueden ser: la cantidad global utilizada, los efectos nocivos sobre el hombre y el ambiente, y la estabilidad y movilidad del agente activo y sus metabolitos.

Seleccionar los puntos de muestreo a partir de la información sobre ubicación de los sitios de toma de agua para los usos identificados y los principales puntos de descarga de las fuentes de contaminación.

Determinar la frecuencia de muestreo, considerando la información sobre momentos y periodicidad de uso de las aguas y de las descargas de las fuentes de contaminación.

Medir las variables hidrológicas en el momento y sitio de toma de muestras.

Cumplir estrictamente los requerimientos de toma, preservación y almacenamiento de las muestras, así como la correcta aplicación de los métodos de análisis indicados por los organismos especializados.

Validar los resultados de los análisis, incluyendo como mínimo la comprobación de un balance iónico satisfactorio y la determinación de la relación sólidos totales disueltos/ conductividad eléctrica.

Interpretar los datos, integrando la información proveniente de los usos, fuentes de contaminación, resultados de los análisis de calidad del agua y medición de las variables hidrológicas.

Conclusiones y recomendaciones del estudio de caso

Conclusiones

El análisis de la información disponible permite calificar al agua de los canales de riego como adecuada para su uso principal, irrigación de cultivos, con ligera a moderada restricción por salinidad, en algunos puntos y momentos del año; y sólo puede presentar inconvenientes para riego irrestricto de cultivos por presencia de coliformes en el mes de setiembre (2.400 a 110.000 NMP/100 ml) en ciertos puntos de muestreo, ubicados fuera de la subárea seleccionada.

El agua de los colectores de desagüe presenta restricciones para su reutilización por salinidad ligera a moderada y severa en algunos puntos (18,21,26); así como restricciones, principalmente, ligeras a moderadas por sodio y cloruros, para su reutilización en riego de cultivos. Además, su calidad bacteriológica impide su reuso para riego irrestricto de cultivos, principalmente en el mes de setiembre y en algunos puntos (23,24,25, 26) en gran parte del año.

La principal fuente de contaminación urbana identificada es la descarga de efluentes de la ciudad de San Martín en el colector Santa Rita-Las Lagunas. La determinación de los sectores de mayor contaminación industrial no se ha realizado por requerirse un mayor detalle sobre los sitios de descarga. Respecto a la actividad agrícola, los principales contaminantes son los plaguicidas, aunque para la identificación de su importancia es necesario un estudio más detallado de la aplicación en el área y del comportamiento de los productos utilizados.

La lista de variables analizadas para evaluar la contaminación del área es reducida. Este estudio aporta una lista más extensa, la cual se puede aplicar sin restricción en algunos sectores y en forma restringida en otros, a los fines de reducir costos, conforme se determine en estudios posteriores más completos.

La ubicación de los puntos de muestreo es apropiada para evaluar la contaminación por la actividad agrícola. Sin embargo, para evaluar más adecuadamente la contaminación urbana e industrial se deben adicionar puntos. La frecuencia de muestreo mensual es apropiada para este tipo de estudios generales de la calidad de agua, pero resulta insuficiente, en períodos tales como los de mayores descargas industriales.

La obtención de balances iónicos insatisfactorios en diversas muestras de los canales de riego, indica posibles errores en la toma, preservación, almacenamiento o análisis de las muestras o la falta de determinación de algún/os ion/es; esto obliga a considerar con precaución la interpretación de dichos datos.

Los principales problemas de contaminación identificados son: a) valores altos de DQO (100 a 500 mg/l) y bajos de oxígeno disuelto, lo cual evidencia presencia de materia orgánica en el agua, dificultando los procesos de autodepuración de las aguas; b) restricción de las aguas de los desagües para su reutilización en riego debido a salinidad y presencia de sodio y cloruros que pueden ocasionar el deterioro de los suelos y la disminución del rendimiento de los cultivos y c) presencia de coliformes que ponen en peligro la salud humana, ya sea porque la gente entre en contacto con las aguas o éstas sean usadas para riego de cultivos que se consumen crudos.

Las variables analizadas sólo permiten detectar algunos de los posibles problemas de contaminación, ya que no se tienen datos de presencia de gran parte de las sustancias tóxicas inorgánicas, ni de sustancias tóxicas orgánicas y plaguicidas.

Recomendaciones

La identificación de los usos del agua superficial del área muestra la necesidad de profundizar sobre algunos de ellos, para lo cual se recomienda:

a) realizar un relevamiento, u ordenar la información existente, de los sitios ubicados en los desagües, a partir de los cuales se reutilizan sus aguas para riego de cultivos, a fin de conocer los volúmenes utilizados y los cultivos regados. Esto permitirá definir nuevos sitios de muestreo y realizar el seguimiento de la calidad del agua que se utiliza y sus posibles efectos en la salud de los trabajadores y la población.

b) realizar un relevamiento u ordenar la información existente sobre los usos del agua superficial para aprovechamiento industrial, que permita conocer el volumen utilizado y sus principales usos (calentamiento, enfriamiento, consumo). Este conocimiento permitirá contrastar los datos de las muestras para obtener una mejor evaluación de la contaminación del agua.

c) realizar un relevamiento de los sitios en los que se utiliza agua de la red para limpieza de enseres domésticos y aseo personal. Esto contribuirá a la identificación de

posibles nuevos puntos de muestreo cuyos resultados podrán contribuir a la gestión del recurso, con el fin de solucionar posibles problemas de abastecimiento y contaminación del agua.

El estudio de las fuentes de contaminación del área requiere, también, un mayor detalle para lo cual se recomienda:

a) realizar un relevamiento, u ordenar la información existente, de la forma de disposición de las aguas residuales de los poblados que no tienen sistemas cloacales, para determinar el sistema de tratamiento utilizado en sus aguas negras y detectar posibles descargas de efluentes a los cauces públicos, lo que permitirá definir nuevos puntos de muestreo.

b) realizar un relevamiento de la información existente, o generarla si no estuviera disponible, respecto a la evolución quincenal o mensual de los efluentes de las plantas de tratamiento, principalmente la correspondiente a la ciudad de San Martín, identificada como la principal fuente de contaminación urbana. Esto contribuirá a la determinación más adecuada de la frecuencia de muestreo en la evaluación de la contaminación del agua.

c) realizar un censo, u ordenar la información existente en las instituciones relacionadas, de las industrias que descargan efluentes a la red de riego y drenaje incluyendo: volúmenes descargados, período de descarga, características de los efluentes y puntos de descarga. Este esfuerzo ya ha sido iniciado por el DGI y es de esperar que sus resultados estén disponibles para la realización de próximos trabajos similares al presente. Esto contribuirá a definir más correctamente los puntos y la frecuencia de muestreo y las variables a considerar en las evaluaciones de contaminación del área.

d) realizar un estudio para determinar la utilización actual de fertilizantes y plaguicidas en el área, incluyendo: tipo, dosis, momento de aplicación y consumos totales. Esto permitirá definir más correctamente las variables a medir en las evaluaciones de contaminación del agua.

La lista de las variables a evaluar podrá ser similar a la que se presenta en Tabla 2.2, si bien es muy extensa, debido al nivel preliminar de este estudio, relevamientos más detallados de los usos y de las fuentes de contaminación permitirán reducirla o aplicarla en forma completa sólo en algunos sectores.

La ubicación de los puntos de muestreo en cabeza, medio y pie de los canales y la distribución esparcida de los sitios en el área, resulta adecuada para evaluar la calidad del agua para riego y su riesgo de contaminación por la actividad agrícola. Sería conveniente, adicionar puntos de muestreo en los sitios donde se reutilizan aguas de desagüe para el riego; en el inicio del colector Santa Rita-Las Lagunas, antes de la descarga de los efluentes municipales, a los fines de comparar la calidad del agua de este desagüe antes y después de la ciudad de San Martín; y también ubicar una cierta cantidad de puntos de muestreo que permitan conocer mejor las modificaciones que las descargas industriales producen en la

calidad del agua. Los relevamientos de información recomendados en los párrafos anteriores permitirán definir con mayor exactitud los sitios de muestreo adecuados.

La frecuencia de muestreo seleccionada fue mensual, período que suele resultar apropiado para estudios generales, pero que puede ser escaso para el análisis de algunas variables. Sería conveniente, en ciertos períodos, tales como los de mayores descargas industriales (ej. febrero a abril por la actividad de las bodegas) y en determinados puntos de muestreo (ej. los ubicados aguas abajo de descargas industriales) incrementar la frecuencia.

La realización de un relevamiento de los sitios más adecuados para la medición de caudales será conveniente para contrastarlos con los posibles puntos de muestreo y buscar la mayor coincidencia posible entre ambos. La medición de caudales en los puntos de muestreo de calidad del agua permitirá obtener relaciones caudal-variables de calidad, que contribuirán a explicar las variaciones de los contaminantes y su origen.

El cumplimiento de los requerimientos de muestreo, preservación, almacenamiento y análisis de las muestras se debe realizar conforme a las recomendaciones de los métodos estándar de análisis químicos.

La interpretación de los resultados de los análisis de las muestras, considerando las relaciones entre las variables hidrológicas y de calidad del agua, la relación con las fuentes de contaminación y la adecuabilidad de las aguas a su uso, se facilitará con la incorporación de los datos a un sistema de información geográfica que permita apreciar las relaciones espaciales y observar las evoluciones temporales de la contaminación del agua en el área de riego.

La búsqueda de un modelo de dispersión de contaminantes del agua que se adapte a las características del área y su posterior calibración es uno de los desafíos que deberán enfrentar las instituciones vinculadas con los recursos hídricos para lograr una mejor gestión a un menor costo.

BIBLIOGRAFIA

AOAC. 1995. Official methods of analysis. Washington.

APHA-AWWA-WPCF. 1985. Standard methods for the examination of water and wastewater. 16th. edition. Washington.

Banco Interamericano de Desarrollo (BID). 1994. Sinopsis de los métodos utilizados en las evaluaciones de proyectos. El marco lógico. Washington.

Bianchi, G. 1994. Informe sobre el uso de plaguicidas y sus consecuencias ambientales en un área limitada del valle de Quibor. Mérida : Convenio CIDIAT- Fundación Polar.

Cabeza, M. 1987. Manual de evaluación de impactos ambientales en proyectos hidráulicos (Borrador preliminar). Mérida : CIDIAT-OEA.

CEPIS. 1991. Manual de evaluación y manejo de sustancias tóxicas en aguas superficiales. Lima.

Chambouleyron, J. 1989. Pautas de política hídrica para Mendoza. Instituto Nacional de Ciencia y Técnica Hídricas. Mendoza : Centro Regional Andino.

Chambouleyron, J. 1993. La administración descentralizada y participativa de los recursos hídricos. Mérida. CIDIAT.

Chambouleyron, J., Morábito, J. y Bustos, R. 1995. La contaminación del agua de riego en Mendoza, Argentina. En: Universidad Nacional de Cuyo - Instituto Nacional de Ciencia y Técnica Hídricas. La eficiencia de riego y la participación de los usuarios en el manejo y control de la calidad del agua en Mendoza. Argentina.

Chambouleyron, J., Medina, R., Zimmermann, M., Drovandi, A., Solanes, R., Nacif, N. 1996. Calidad del agua de riego del oasis del Tunuyán inferior a lo largo del ciclo agrícola 1995-1996. Mendoza : INCYTH.

Chapman, D. y Kimstach, V. 1992. The selection of water quality variables (Chapter 3) in Chapman, D. 1992. Water quality assessments. UNESCO - WHO - UN Environment Programme.

CIDIAT. 1994. Manual del usuario Programa Reúso. Mérida. Convenio CIDIAT - Fundación Polar.

Comisión intersecretarial para el control del proceso y uso de plaguicidas, fertilizantes y sustancias tóxicas (CICOPLAFEST). 1994. México : Catálogo oficial de plaguicidas.

- Cubillos, A. 1981. Calidad del agua y control de la polución. Mérida : CIDIAT.
- Ente Provincial de Agua y Saneamiento. 1995. Primer taller sobre normas de calidad de aguas. Mendoza.
- FAO. 1987. La calidad del agua en la agricultura. Estudio de riego y drenaje 29. Roma.
- Fasciolo, G. y Bertranou, A. sin fecha. Evaluación de los niveles contaminantes en el área del colectro Pescara. Maipú. Mendoza : INCYTH-CELA.
- Fasciolo, G. 1991.a. La contaminación hídrica. Mendoza : INCYTH-CELA.
- Fasciolo, G. 1991.b. Uso de efluentes domésticos para riego. Mendoza : INCYTH-CELA.
- Fasciolo, G. 1993. Uso de aguas residuales en agricultura. El caso de Mendoza. En: Curso-Taller sobre derecho, economía y administración en el manejo integral del agua a nivel de cuencas. Mendoza.
- Feigin, A., Ravina, I. and Shalhevet J. 1991. Irrigation with treated sewage effluent. Germany.
- INTA C.R. Cuyo. 1995. Manual de tratamientos fitosanitarios para cultivos de clima templado bajo riego. San Juan : INTA
- Kotlik, L. 1988. Contaminación en los oasis regados de Mendoza. Departamento General de Irrigación. Publicación Técnica 15. Mendoza.
- Meybeck, M. and Helmer, R. 1992. An introduction to water quality (Chapter 1) in Chapman, D. 1992. Water quality assessments. UNESCO - WHO - UN Environment Programme.
- Meybeck, M., Kimstach, V. and Helmer, R. 1992. Strategies for water quality assessment (Chapter 2) in Chapman, D. 1992. Water quality assessments. UNESCO - WHO - UN Environment Programme.
- Meybeck, M., Friedrich, G., Thomas, R. and Chapman, D. 1992. Rivers (Chapter 6) in Chapman, D. 1992. Water quality assessments. UNESCO - WHO - UN Environment Programme.
- Mujeriego,R. 1990. Manual práctico de riego con agua residual municipal regenerada. Barcelona : Universidad Politécnica de Catalunya.
- Obras Sanitarias de la Nación (OSN). 1973. Seminario sobre contaminación de agua y suelo por desagües orgánicos. Mendoza.
- Palange, R. C. y Zabala, A. 1989. Control de la contaminación del agua. Guías para la planificación y financiamiento de proyectos. Documento Técnico Banco Mundial Nro. 735.

Stumm W. 1992. Water, endangered ecosystem: assessment of chemical pollution. *Journal of environmental engineering*. 118: 466-476.

Vélez, O. 1993. La necesidad de lograr la transformación del sector saneamiento. En Curso-Taller sobre derecho, economía y administración en el manejo integral del agua a nivel de cuencas. Mendoza.

WHO. 1993. Guidelines for drinking-water quality. Volume 1. Recommendations. Geneva.

Zoia, O. y Fasciolo G. 1991. Contaminación hídrica industrial en Mendoza. Mendoza : INCYTH - CELA.

APENDICES

APENDICE 1

**Directrices Generales Consideradas en el Flujograma
Propuesto para Evaluación de la Contaminación
del Agua Superficial de un Area de Riego**

Tabla 1.1 Selección de variables para la realización de evaluaciones de calidad de agua en relación a usos del agua no industriales

Variables	Vida acuática y pesquerías	Agua potable	Recreación y salud	Agricultura y ganadería Riego	Agua p/ ganado
Generales					
Temperatura	XXX		X		
Color		XX	XX		
Olor		XX	XX		
Sólidos suspendidos	XXX	XXX	XXX		
Turbidez	XX	XX	XX		
Conductividad	X	X		X	
Total de Sólidos disueltos	X	X		XXX	X
pH	XX	X	X	XX	
Oxígeno disuelto	XXX	X		X	
Dureza	X	XX			
Clorofila	XX	XX	XX		
Nutrientes					
Amonia	XXX	X			
Nitratos/nitritos	X	XXX			XX
Fósforo/fosfatos					
Materia orgánica					
Carbono orgánico total		X	X		
Demanda Química de Oxígeno	XX				
Demanda Bioquímica de Oxígeno	XXX	XX			
Principales Iones					
Sodio		X		XXX	
Potasio					
Calcio				X	X
Magnesio		X			
Cloruros		X		XXX	
Sulfatos		X			X
Otras variables inorgánicas					
Fluor		XX		X	X
Boro				XX	X
Cianuro	X	X			
Elementos traza					
Metales pesados	XX	XXX		X	X
Arsénico y Selenio	XX	XX		X	X
Contaminantes orgánicos					
Aceites e hidrocarburos	X	XX	XX	X	X
Solventes orgánicos	X	XXX			X
Fenoles	X	XX			X
Pesticidas	XX	XX			X
Surfactantes	X	X	X		X
Indicadores microbiológicos					
Coliformes fecales		XXX	XXX	XXX	
Coliformes totales		XXX	XXX	X	
Patógenos		XXX	XXX	X	XX

X - XXX Baja a alta importancia de inclusión de la variable en el programa de evaluación de calidad del agua.

Fuente: Chapman y Kimstach (1992)

Tabla 1.2 Selección de variables para la realización de evaluaciones de calidad de agua en relación a usos del agua industriales

Usos industriales	Calentamiento	Enfriamiento	Generación de energía	Hierro y Acero	Pulpa y papel	Petróleo	Procesam. de alimentos
Generales							
Temperatura	XXX	XXX		XXX	X		
Color	X				X		XX
Olor							XXX
Sólidos suspendidos	XXX	XXX	XX	XX	X	XXX	XX
Turbidez	XX				XX		XX
Conductividad	X	X					
Total de Sólidos disueltos	XX	XX	XXX	XX	XXX	X	XXX
pH	X	XXX	XXX	XX	XX	XXX	XXX
Oxígeno disuelto	XXX		X	XXX	X		
Dureza	XXX	XX	XXX	XX	XXX	XXX	XXX
Nutrientes							
Amonia	XXX		X				
Nitratos						X	X
Fosfatos					X		XX
Materia orgánica							
Demanda Química de Oxígeno		X	XX				
Principales Iones							
Calcio		XXX	XXX		X	XXX	X
Magnesio			X		X	XXX	X
Carbonatos	XX		XXX		XXX	X	X
Cloruros	X	X	XX	XX	X	XXX	XXX
Sulfatos		X	XX	XX	XX	X	XXX
Otras variables inorgánicas							
Sulfito de hidrógeno	XXX	X					XX
Silice	XX	XX	X		X	X	X
Fluor						X	XX
Elementos traza							
Aluminio		X	X				X
Cobre		X	X				
Hierro	XX	X	X		X	X	XX
Manganeso	XX	X	X		X		XX
Zinc			X				
Contaminantes orgánicos							
Aceites e hidrocarburos	X	X	X	X			X
Solventes orgánicos							X
Fenoles							X
Pesticidas							X
Surfactantes	X	X	X				X
Indicadores microbiológicos							
Patógenos							XXX

X - XXX Baja a alta importancia de inclusión de la variable en el programa de evaluación de calidad del agua.

Fuente: Chapman y Kimstach (1992)

Tabla 1.3 Análisis de laboratorio necesarios para evaluar las aguas de riego

Parámetros	Símbolo	Unidad	Valores normales en aguas de riego
SALINIDAD			
<u>Contenido de Sales</u>			
Conductividad Eléctrica	ECa	dS/m	0 - 3
Total Sólidos en Solución	TSS	mg/l	0 - 2000
<u>Cationes y Aniones</u>			
Calcio	Ca ⁺⁺	me/l	0 - 20
Magnesio	Mg ⁺⁺	me/l	0 - 5
Sodio	Na ⁺	me/l	0 - 40
Carbonatos	CO ₃ ⁻	me/l	0 - 0,1
Bicarbonatos	HCO ₃ ⁻	me/l	0 - 10
Cloro	Cl ⁻	me/l	0 - 30
Sulfatos	SO ₄ ⁻	me/l	0 - 20
NUTRIENTES			
Nitrato - Nitrógeno	NO ₃ -N	mg/l	0 - 10
Amonio - Nitrógeno	NH ₄ -N	mg/l	0 - 5
Fosfato - Fósforo	PO ₄ -P	mg/l	0 - 2
Potasio	K ⁺	mg/l	0 - 2
VARIOS			
Boro	B	mg/l	0 - 2
Acidez o Basicidad	pH	1 - 14	6 - 8,5
Relación de Adsorción de Sodio	RAS	(me/l) ^{1,2}	0 - 15

Fuente: FAO (1987)

Tabla 1.4 Selección de variables para la realización de evaluaciones de calidad de agua en relación a fuentes de contaminación no industriales

Fuentes de contaminación Variables	Res. municip. y cloacales ¹	Descargas urbanas	Actividades agrícolas	Disposición de residuos		Transporte atmosférico
				Sólidos munic.	Químico. pelig.	
<u>Generales</u>						
Temperatura	X	X	X			
Color	X	X	X	X		
Olor	X	X	X			
Residuos	X	X	XXX	XXX	XX	
Sólidos suspendidos	XXX	XX	XXX	XX	XX	
Conductividad	XX	XX	XX	XXX	XXX	XXX
Alcalinidad				XX		XXX
pH	X	X	X	XX	XXX	XXX
Eh	X	X	X			
Oxígeno disuelto	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	
Dureza	X	X	X		X	X
<u>Nutrientes</u>						
Amonia	XXX	XX	XXX	XX		
Nitratos/nitritos	XXX	XX	XXX	XX		XXX
Nitrógeno orgánico	XXX	XX	XXX	XX		
Compuestos de fósforo	XXX	XX	XXX	X		X
<u>Materia orgánica</u>						
Carbono orgánico total	X	X	X			
Demanda Química de Oxígeno	XX	XX	X	XXX	XXX	
Demanda Bioquímica de Oxígeno	XXX	XX	XXX	XXX	XX	
<u>Principales Iones</u>						
Sodio	XX	XX	XX			
Potasio	X	X	X			
Calcio	X	X	X			
Magnesio	X	X	X			
Carbonatos			X			
Cloruros	XXX	XX	XXX	XX	XX	
Sulfatos	X	X	X			XXX
<u>Otras variables inorgánicas</u>						
Sulfuros	XX	XX	X		X	
Sílice	X	X				
Fluor	X	X				
Boro			X			
<u>Elementos traza</u>						
Aluminio						XX
Cadmio		X		XXX	XXX	X
Cromo		X		XXX	XX	X
Cobre	X	X	XX ²	XXX	XX	X
Hierro	XX	XX		XXX	XX	X
Plomo	XX	XXX		XXX	XX	X
Mercurio	X	X	XXX ²	XXX	XXX	
Zinc		X	XX ²	XXX	XX	X
Arsénico		X	XXX ²	XX	XXX	X
Selenio		X	XXX ²	X	X	

Continúa

Fuentes de contaminación Variables	Res. municip. y cloacales ¹	Descargas urbanas	Actividades agrícolas	Disposición de residuos		Transporte atmosférico
				Sólidos munic.	Químico. pelig.	
Contaminantes orgánicos						
Grasas	X	X				
Aceites e hidrocarburos	XX	XXX		XX	X	
Solventes orgánicos	X	X		XXX	XXX	
Metano				XXX ⁴		
Fenoles	X			XX	XX	
Pesticidas		X	XXX ³	XX	XXX	XXX
Surfactantes	XX		X		X	
Indicadores microbiológicos						
Coliformes fecales	XXX	XX	XX	XXX		
Otros patógenos	XXX		XX	XXX		

X - XXX Baja a alta probabilidad que la concentración de la variable será afectada y la importancia de que sea incluida en el programa de evaluación de la calidad del agua

- 1 Se asumen vuelcos industriales insignificantes a las aguas residuales
- 2 Sólo es necesario medirlo cuando es usado localmente o existe naturalmente a altas concentraciones
- 3 Componentes específicos deberían ser medidos de acuerdo al nivel de uso en la región
- 4 Es importante sólo para aguas subterráneas en áreas industriales localizadas

Fuente: Chapman y Kimstach (1992)

Tabla 1.5 Composición típica de efluentes domésticos sin tratamiento y con tratamientos primario y secundario

Componentes	Unidades	Sin tratamiento (intervalo de concentr)			Tratamiento Primario		Trat. Secund.
		Alta	Media	Baja	Rango	Mediana	Rango
Sólidos							
Totales	mg/l	1300	700	200			400 - 1200
Disueltos	mg/l	1000	500	260	200 - 500	500	400 - 1100
Suspendidos	mg/l	350	220	100	50 - 150	100	10 - 100
DBO ₅ a 20 °C	mg/l	350	200	100	65 - 200	135	10 - 80
DQO	mg/l	1000	500	250	150 - 750	335	30 - 160
COT	mg/l	290	160	80			
Nitrógeno							
total	mg/l	85	40	20	10 - 60	40	10 - 50
amonio	mg/l	50	25	10	7 - 40	30	1 - 40
orgánico	mg/l	35	15	5			
nitrato	mg/l	1,5	0,2	0	-	< 0,1	0 - 10
Fósforo	mg/l	36	10	4	5 - 17	8	6 - 17
Cloruros	mg/l	650	150	10			40 - 200
Calcio + Magnesio	mg/l	150	80	25			30 - 170
Sodio	mg/l	460	120	10			50 - 250
Potasio	mg/l	25	10	5			10 - 40
Alcalinidad	mg/l CaCO	400	200	50			200 - 700
Grasa	mg/l	150	100	35			
pH		8	7,2	7			7,8 - 8,1
Boro							0 - 1
RAS	(mmhol/l) ⁻²						4,5 - 7,9

Fuente: Feigin, Ravina, Shalhevet (1991).

Tabla 1.6 Selección de variables para la realización de evaluaciones de calidad de agua en relación a algunas fuentes comunes de contaminación industrial

Fuentes de contaminación	Procesam. de alimentos	Minería	Extracción de petróleo y refin.	Ind. Química y farmacéutica	Pulpa y papel	Metafúrgica	Producción de maquinaria	Textiles
Generales								
Temperatura	X	X	X	X	X	X	X	X
Color	X	X	X	X	X	X	X	X
Olor	X	X	X	X	X	X	X	X
Residuos	X	X	X	X	X	X	X	X
Sólidos suspendidos	X	XXX	XXX	X	XXX	XXX	XXX	XXX
Conductividad	XXX	XXX	XXX	X	XXX	XXX	XXX	XXX
pH	XXX	XXX	X	XXX	X	XXX	X	X
Eh	X	X	X	X	X	X	X	X
Oxígeno disuelto	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	X	X	XXX
Dureza	X	X	X	X	X	XX	X	X
Nutrientes								
Amonia	XXX	X	XX	XX	X	X	X	X
Nitratos/nitritos	XX	X		XX	X	X		X
Nitrógeno orgánico	XX			X	X			X
Compuestos de fósforo	XX			XX			X	X
Materia orgánica								
Carbono orgánico total	X	X	X	XX	XXX	X	X	X
Demanda Química de Oxígeno	X	X	X	XXX	XXX	X	X	X
Demanda Bioquímica de Oxígeno	XXX	X	XXX	XX	XXX	X	X	XXX
Principales Iones								
Sodio	X	X	X	X				X
Potasio	X	X	X	X				X
Calcio	X	X	X	X	X	XX	X	X
Magnesio	X	X	X	X	X	X		X
Carbonatos	X	X	X	X	X	X	X	XXX
Cloruros	XX	XXX	XX	XX	X	X	X	X
Sulfatos	X	X	XX	XX	XXX	X	X	X
Otras variables inorgánicas								
Sulfuros		X	XXX	XXX	XXX	XXX	X	X
Silíce		X	X	X			X	X
Fluor		X	X	XX		X	X	X
Boro		X	X	X	X	X	X	X
Cianuro		X	X	X		X	X	X

Continúa...

Fuentes de contaminación Variables	Procesam. de alimentos	Minería	Extracción de petróleo y refineri.	Ind. Química y farmacéutica	Pulpa y papel	Metalúrgica	Producción de maquinaria	Textiles
<u>Elementos traza</u>								
Metales pesados		XXX	XX	XX	X	XXX	XXX	XX
Arsénico		X		X		X		X
Selenio		X		X		X	X	X
<u>Contaminantes orgánicos</u>								
Grasas	XX							
Aceites e hidrocarburos			XXX	XX		XX	XXX	X
Solventes orgánicos				XXX	XXX		X	X
Fenoles	X		XX	XXX	XXX	X		X
Pesticidas	X			XXX				
Otros orgánicos				XXX	XXX	X		
Surfactantes	XX		XX	XXX	X	X	X	XX
<u>Indicadores microbiológicos</u>								
Coliformes fecales	XXX							
Otros patógenos	XXX							

X - XXX Baja a alta probabilidad que la concentración de la variable será afectada y la importancia de que sea incluida en el programa de evaluación de la calidad del agua

Fuente: Chapman y Kimstach (1992)

Tabla 1.7 Características principales de los medios usados para evaluaciones de calidad del agua

Características	Agua		Sedimentos		Organismos vivos		
	suspendidos	depositados	Analisis de tejidos	Biotests	Analisis ecológico	Determinaciones Fisiológicas	
Tipo de análisis u observación	físico-químico biológico						
Aplicabilidad a cuerpos de agua	ríos y lagos y agua subter.	ríos y lagos	ríos y lagos	ríos y lagos	ríos y lagos	ríos y lagos	ríos y lagos
Comparabilidad	global		depende de la ocurrencia de especies	global		local a regional	
Especificidad frente a los contaminantes	específico integrativo						
Cuantificación	completo sólo concentrac. cuantitativo semi-cuantitativo relativo						
Sensibilidad a bajos niveles de contaminación	baja	alta		variable	media		variable
Riesgo de contaminación de las muestras	alto	medio		bajo	medio		bajo
Período de obtención de la información	instantáneo	corto	largo a muy largo	medio (1 mes a largo (> 1 año))	instantáneo a continuo		medio a largo
Nivel de entrenamiento de los operadores de campo	sin entrenam. a alto entren.	entrenados	sin entrenam. a entrenados	alta	mediana a altamente entrenados		
Duración del almacenamiento de las muestras	baja	alta		alta	muy baja		no aplicable
Duración mínima de la determinación	instantes a días	días	días a semanas	días	días a meses	semanas a meses	días a semanas

Fuente: Meybeck, Kimstach y Helmer (1992)

Tabla 1.8 Requerimientos especiales de muestreo, preservación y almacenamiento en el manejo de muestras

Determinación	Recipiente	Volumen mínimo de muestras	Preservación	Máximo almacenam. recomend
Acidez	P, V (B)	100	Refrigerar a 4°C en la oscuridad	24 hs
Alcalinidad	P, V	200	Refrigerar a 4°C en la oscuridad	24 hs
Boro	P	100	No se requiere	28 días
Bromuro	P, V	-	No se requiere	28 días
Carbono Orgánico Total	V	100	Analizar inmediatamente o refrigerar a 4°C y agregar H ₂ SO ₄ hasta pH < 2	7 días
Cianuro	P, V		Agregar NaOH hasta pH > 12, refrigerar en la oscuridad a 4 °C	-
total	P, V	500		
susceptible de cloración	P, V	500	Agregar 100 mg Na ₂ S ₂ O ₃ /l	
Cloro Residual	P, V	500	Analizar inmediatamente	0,5 hs
Clorofila	P, V	500	30 días en la oscuridad, congelar	30 días
Color	P, V	500	Refrigerar a 4°C en la oscuridad	48 hs
Compuestos orgánicos				
Pesticidas	V (S) (2)		Refrigerar a 4°C en la oscuridad, agregar 100 mg Na ₂ S ₂ O ₃ /l, si cloro residual está presente	7 días
Fenoles	P, V	500	Refrigerar a 4°C, agregar H ₂ SO ₄ a pH < 2	28 días
Purificables mediante purga y trampa	V	50	Refrigerar a 4°C, agregar 100 mg Na ₂ S ₂ O ₃ /l, si cloro residual está presente	7 días
Conductividad	P, V	500	Refrigerar a 4°C en la oscuridad	28 hs
Demanda Bioquímica de Oxígeno	P, V	1000	Refrigerar a 4°C en la oscuridad	6 hs
Demanda Química de Oxígeno	P, V	100	Analizar tan pronto como sea posible o agregar H ₂ SO ₄ hasta pH < 2	7 días
Dióxido de Carbono	P, V	100	Analizar inmediatamente	-
Dureza	P, V	100	Agregar HNO ₃ hasta pH < 2	6 meses
Fluoruro	P	300	No se requiere	28 días
Fosfato	V (A)	100	Para fosfato disuelto filtrar inmediatamente, refrigerar a 4 °C, congelar a -10°C	48 hs
Grasa y aceite	V1	1000	Adicionar H ₂ SO ₄ hasta pH < 2, refrigerar en la oscuridad a 4°C	
Metales (general)	P (A), C (A)		Para metales disueltos, filtrar inmediatamente y agregar HNO ₃ hasta pH < 2	6 meses
Cromo VI	P (A), C (A)	300	Refrigerar en la oscuridad a 4°C	24 hs
Mercurio	P (A), C (A)	500	Agregar NHO ₃ hasta pH < 2 y refrigerar en la oscuridad a 4°C	28 días
Nitrógeno				
Amoniacal	P, V	500	Analizar tan pronto sea posible o agregar H ₂ SO ₄ hasta pH < 2, refrigerar a 4 °C	7 días
Nitratos	P, V	100	Agregar H ₂ SO ₄ hasta pH < 2 y refrigerar 48 hs a 4°C	48 hs
Nitratos + nitritos	P, V	200	Analizar tan pronto sea posible o congelar a - 20°C	-
Orgánico , Kjeldahl	P, V	500	Refrigerar a 4°C agregar H ₂ SO ₄ hasta 7 días pH <2	7 días
Olor	V	500	Analizar pronto, refrigerar	6 hs

Continúa

Determinación	Recipiente	Volumen mínimo de muestras	Preservación	Máximo almacenam. recomend
Oxígeno disuelto	V	300		
Electrodo			Analizar inmediatamente	0,6 hs
Winkler			Titulación puede ser retardada mediante acidificación	8 hs
Ozono	V	1000	Analizar inmediatamente	0,5 hs
pH	P, V	-	Analizar inmediatamente	2 hs
Sabor	V	500	Analizar pronto, refrigerar	24 hs
	P, V		Analizar inmediatamente	-
Salinidad	V (3)	240	Analizar inmediatamente	6 meses
Silíce	P	-	Refrigerar, no congelar	28 días
Sólidos	P, V	-	Refrigerar a 4°C en la oscuridad	-
Sulfatos	P, V	-	Refrigerar a 4°C en la oscuridad	7 días
Sulfuro	P, V	100	Refrigerar a 4°C, agregar 4 gotas de acetato de Zinc 2N/100 ml	28 días 28 días
Turbidez	P, V	-	Analizar mismo día; almacenar en la oscuridad hasta 24 horas	24 hs
Yodo	P, V	500	Analizar inmediatamente	0,5 hs

Nota: P = plástico (polietileno o equivalente), V= vidrio ; V (A) o P (A) = enjuagar con (1 + 1 HNO₃);
V (B)= vidrio. borosilicato; V (S) = vidrio, enjuagar con solventes orgánicos; 1= boca ancha;
2 = tapa revestida con TFE; 3 = sellado con cera.

Fuente: U. S. Public Health Association et al (1985), citado por Cabeza (1987).

Tabla 1.9 Directrices para interpretar la calidad de las aguas para el riego

Problema potencial	Unidades	Grado de Restricción de Uso		
		Ninguno	Ligero a moderado	Severo
Salinidad (afecta disponibilidad de agua para el cultivo) 1				
ECa (Conductividad eléctrica del agua)	dS/m	< 0,7	0,7 - 3,0	> 3,0
TSS (Total de Sólidos en Solución)	mg/l	< 450	450 - 2.000	> 2.000
Infiltración (reduce infiltración; evaluar usando a la vez				
ECa y RAS: Relación de Adsorción de Sodio) 2				
RAS 0 - 3 y ECa		> 0,7	0,7 - 0,2	< 0,2
RAS 3 - 6 y ECa		> 1,2	1,2 - 0,3	< 0,3
RAS 6 - 12 y ECa		> 1,9	1,9 - 0,5	< 0,5
RAS 12 - 20 y ECa		> 2,9	2,9 - 1,3	< 1,3
RAS 20 - 40 y ECa		> 5,0	5,0 - 2,9	< 2,9
Toxicidad de Iones Específicos				
(afecta cultivos sensibles)				
Sodio (Na) 3				
riego por superficie	RAS	< 3,0	3 - 9	> 9
riego por aspersión	me/l	< 3,0	> 3	
Cloro (Cl) 3				
riego por superficie	me/l	< 4	4,0 - 10	> 10
riego por aspersión	me/l	< 3	> 3	
Boro (B)	mg/l	< 0,7	0,7 - 3,0	> 3,0
Varios (afecta cultivos sensibles)				
Nitrógeno (NO ₃ - N) 4	mg/l	< 5	5,0 - 30	> 30
Bicarbonato (HCO ₃) (sólo aspersión foliar)	me/l	< 1,5	1,5 - 8,5	> 8,5
pH		Amplitud Normal : 6,5 - 8,4		

Notas: 1 ECa es la conductividad eléctrica del agua; medida de la salinidad, expresada en decisiemens por metro a 25 °C o en milimhospor centímetro a 25 °C (mmhos/cm). Las dos medidas son equivalentes. TSS, es el total de sólidos en solución, expresado en miligramos por litro (mg/l).

2 RAS es la relación de adsorción de sodio, algunas veces representada como RNa. Para un valor determinado del RAS, la velocidad de infiltración aumenta a medida que aumenta la salinidad. Evalúese el problema potencial de infiltración utilizando el RAS y la CEa. Fuente: Rhoades 1977 y Oster y Schroer 1979.

3 La mayoría de los cultivos arbóreos y plantas leñosas son sensibles al sodio y al cloro; en el caso de riego por superficie úsense los valores indicados.

4 NO₃-N es el nitrógeno en forma de nitrato, expresado en términos de nitrógeno elemental (en el caso de aguas residuales incluir el NH₄-N y el N- orgánico)

Fuente: University of California Committee of Consultants (1974) citado por FAO (1987).

Tabla 1.10 Concentraciones máximas de oligoelementos recomendables para el riego

Elemento	Concentr. (mg/l) 1	Notas
Al (aluminio)	5,00	Puede volver improductivos suelos ácidos (pH < 5,5); pero en suelos con pH > 7 el aluminio precipita y elimina la toxicidad.
As (arsénico)	0,10	El nivel tóxico varía ampliamente en las plantas, desde 12 mg/l para el pasto de Sudán hasta menos de 0,05 mg/l para el arroz.
Be (berilio)	0,10	El nivel tóxico para las plantas varía ampliamente, desde 5 mg/l para la col rizada hasta 0,5 mg/l para los frijoles.
Cd (cadmio)	0,01	Tóxico para los frijoles, remolacha y nabo en concentraciones tan bajas como 0,1 mg/l en soluciones nutritivas. Se recomiendan límites bajos debido a su acumulación potencial en suelos y plantas, peligrosa para seres humanos.
Co (cobalto)	0,05	Tóxico para las plantas del tomate a 0,1 mg/l en soluciones nutritivas. Tiende a inactivarse en suelos neutros y alcalinos.
Cr (cromo)	0,10	Generalmente no se reconoce como esencial. Valores bajos recomendados por falta de conocimiento sobre su toxicidad.
Cu (cobre)	0,20	Entre 0,1 a 1,0 mg/l es tóxico para ciertas plantas en soluciones nutritivas.
F (flúor)	1,00	Inactivo por suelos neutrales y alcalinos.
Fe (hierro)	5,00	No es tóxico en suelos con buena aereación; contribuye a la acidez y a la indisponibilidad del fósforo y del Mo. La aspersión puede causar depósitos blancos en hojas, etc.
Li (litio)	2,50	Tolerable por muchos cultivos hasta 5 mg/l; móvil en el suelo. Tóxico para cítricos en concentraciones < 0,075 mg/l. actúa en forma similar al boro.
Mn (manganeso)	0,20	Por lo general, tóxico sólo en suelos ácidos desde unas cuantas décimas hasta unos pocos mg/l.
Mo (molibdeno)	0,01	En concentraciones normales no es tóxico para las plantas; pero lo puede ser para ganado alimentado con pastos cultivados en suelos con alto contenido de Mo.
Ni (níquel)	0,20	Entre 0,5 y 1,0 mg/l, tóxico para ciertas plantas; su toxicidad es reducida en medio de pH > 7.
Pb (plomo)	5,00	En altas concentraciones, puede inhibir crecimiento celular.
Se (selenio)	0,02	Tóxico para plantas en concentraciones tan bajas como 0,025 mg/l; también lo es para el ganado alimentado con pastos cultivados en suelos con niveles relativamente altos de Se. Esencial para animales pero en concentraciones muy bajas.
Sn (estaño)		
Ti (titanio)	—	Excluido por las plantas; tolerancia específica desconocida.
W (tungsteno)		
V (vanadio)	0,10	Tóxico para muchas plantas a niveles relativamente bajos.
Zn (cinc)	2,00	Tóxico para muchas plantas a muy variados niveles de concentración; su toxicidad es reducida con pH > 6 y en suelos de textura fina y en los orgánicos.

Nota: 1 Estas concentraciones máximas se basan en una aplicación de agua de 10.000 m³/ha/año. Si el riego excede esta cantidad, las concentraciones deben ser corregidas; si no la excede esta corrección no es necesaria. Los valores dados son para un consumo continuo de agua en un mismo lugar.

Fuente: National Academy of Science (1962) y Pratt (1972). citado por FAO (1987)

Tabla 1.11 Concentraciones máximas permitidas de las variables de calidad del agua para diferentes usos

Variables	Unidades	Agua Potable			Pesquerías y Vida acuática	
		OMS	CE	USA	CE	Canadá
Generales						
Color	TCU	15	20 mg Pt-Co/l	15		
Sólidos disueltos totales	mg/l	1000		500		
Sólidos suspendidos totales	mg/l				25	
Turbidez	NTU	5	4 JTU	1 - 5		
pH			6,5 - 8,5	6,5 - 8,5	6 - 9	6,5 - 9
Oxígeno Disuelto	mg/l				5 - 9	5 - 9,5
Dureza	mg/l CaCO ₃					
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/l O ₂				3,0 - 6,0	
Compuestos de N y P						
Nitrógeno amoniacal	mg/l				0,005 - 0,025	1,37 - 2,2
Amonio	mg/l		0,5		0,04 - 1,0	
Nitratos como Nitrógeno	mg/l	50		10		
Nitratos	mg/l		50			
Nitritos como Nitrógeno	mg/l	3				
Nitritos	mg/l		0,1		0,01 - 0,03	0,06
Fósforo	mg/l		5,0			
Principales Iones						
Sodio	mg/l	200	150 - 175			
Cloruros	mg/l	250	25	250		
Sulfatos	mg/l	250	25	250		
Sulfuros	mg/l					
Otras variables inorgánicas						
Fluor	mg/l	1,5	1,5 - 0,7	2,0		
Boro	mg/l	0,3	1,0			
Cianuro	mg/l	0,07				0,005
Elementos traza						
Aluminio	mg/l	0,2	0,2			0,005 - 0,1
Arsénico	mg/l	0,01	0,05	0,05		0,05
Bario	mg/l	0,7	0,1	1		
Cadmio	mg/l	0,003	0,005	0,01		0,0002 - 0,0018
Cromo	mg/l	0,05	0,005	0,05		0,02 - 0,002
Cobalto	mg/l					
Cobre	mg/l	1,0	0,1	1,0	0,005 - 0,112	0,002 - 0,004
Hierro	mg/l	0,3	0,3	0,3		0,3
Plomo	mg/l	0,01	0,05	0,05		0,001 - 0,007
Manganeso	mg/l	0,1	0,05	0,05		
Mercurio	mg/l	0,001	0,001	0,002		0,0001
Níquel	mg/l	0,02	0,05			0,025 - 0,15
Selenio	mg/l	0,01	0,01	0,01		0,001
Zinc	mg/l	3,0	0,1 - 3	5,0	0,03 - 2,0	0,03

Continúa

Variables	Unidades	A g u a P o t a b l e			Pesquerías y Vida acuática	
		OMS	CE	USA	CE	Canadá
<u>Contaminantes orgánicos</u>						
Aceites e hidrocarburos	mg/l		0,01			
Pesticidas totales	mg/l		0,5			
Pesticidas individuales	ug/l		0,1			
Aldrin y dieldrin	ug/l	0,03				4 ng/l dieldrin
DDT	ug/l	2				1 ng/l
Lindano	ug/l	2		0,4		
Metoxiclor	ug/l	20		100		
Benceno	ug/l	10		5,0		300
Hexaclorobenceno	ug/l	1				
Pentaclorofenol	ug/l	9				
Fenoles	ug/l		0,5			1,0
Detergentes	mg/l		0,2	0,5		
<u>Indicadores microbiológicos</u>						
Coliformes fecales	No./100 ml	0	0			
Coliformes totales	No./100 ml	0		1		

Fuente: Elaboración propia a partir de CCREM (1987), CEC (1978 y 1980), Sayre (1988) y WHO (1984) citados por Chapman y Kiimstach (1992); y WHO (1993)

Tabla 1.12 Directrices recomendadas sobre la calidad microbiológica de las aguas residuales empleadas en la agricultura (1)

Categoría	Condiciones de aprovechamiento	Grupo expuesto	Nemotodos intestinales (2) (media aritmética No. de huevos/l) (3)	Coliformes fecales (media geométrica No. por 100 ml) (3)	Tratamiento de aguas residuales necesario para lograr la calidad
A	Riego de cultivos que comúnmente se consumen crudos, campos de deportes, parques públicos	Trabajadores, consumidores y público	menor o igual a 1	menor o igual a 1000 (4)	Serie de tanques de estabilización que permiten lograr la calidad microbiológica indicada o tratamiento equivalente.
B	Riego de cultivos de carácter industrial, forrajero, pradera y árboles (5)	Trabajadores	menor o igual a 1	no se recomienda ninguna forma	Retención en estanques de estabilización por 8 a 10 días o eliminación de helmintos y coloidales fecales.
C	Riego localizado de cultivos en la categoría B, cuando ni los trabajadores ni el público están expuestos	Ninguno	no es aplicable	no es aplicable	Tratamiento previo según lo exija la tecnología de riego por no menos que sedimentación primaria.

Notas:

1. En casos específicos, se deberían tener en cuenta los factores epidemiológicos, socioculturales y ambientales de cada lugar y modificar las directrices de acuerdo con ello.
2. Especies Ascaris, Trichuris y Anquilostomas.
3. Durante el período de riego.
4. Conviene establecer una directriz más estricta (igual o menor a 200 coliformes fecales por 100 ml.) para prados públicos, como los de los hoteles, con los que el público puede tener contacto.
5. En el caso de árboles frutales, el riego debe cesar dos semanas antes de cosechar la fruta y ésta no se debe recoger del suelo. No es conveniente regar por aspersión.

Fuente: OMS (1992) citado por Fasciolo (1993)