

**METODOLOGIA PARA EVALUAR LA CONTAMINACION DEL AGUA SUPERFICIAL EN AREAS
DE RIEGO. CASO: AREA DE RIEGO DE LA CUENCA INFERIOR DEL RIO TUNUYAN.
PROVINCIA DE MENDOZA. ARGENTINA.**

Por

Adriana Delgado

**Trabajo de Grado para Optar al Grado de Magister Scientiae en
Gestión de Recursos Naturales Renovables y Medio Ambiente**

SERBIULA - CIDIAT



TD420 D45 e2

**CENTRO INTERAMERICANO DE DESARROLLO
E INVESTIGACION AMBIENTAL Y TERRITORIAL
UNIVERSIDAD DE LOS ANDES
Mérida, Venezuela
1996**

Donado: Direccion Cidiat, fecha: 16-12-96

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Carlos Grassi, quien hizo posible la realización de este trabajo, por su apoyo y afecto permanente.

Al Ing. Miguel Cabeza, por su valioso asesoramiento y gran disposición.

Al Ing. Luis Rázuri, por su continua colaboración.

Al Ing. Chambouleyron y todo su equipo de trabajo de INCYTH-CRA, por su apoyo y gran amabilidad para brindar sus conocimientos.

A la Dra. María del Carmen Tortorelli por su colaboración espontánea.

Al personal de las instituciones relacionadas con los recursos hídricos de Mendoza, quienes aportaron los datos que permitieron la realización de este trabajo:

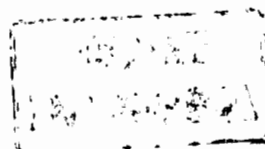
Instituto Nacional de Ciencia y Técnica Hídrica (INCYTH - CRA y CELA)
Universidad Nacional de Cuyo - Facultad de Ciencias Agrarias
Departamento General de Irrigación
Ente Provincial de Agua y Saneamiento
Obras Sanitarias Mendoza
Ministerio de Obras Públicas y Medio Ambiente
Dirección de Estadística e Investigación Económica (Ministerio de Economía)
Dirección de Desarrollo Agrícola (Ministerio de Economía)
Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria

Al personal del Instituto Nacional de Ciencia y Técnica Hídrica (INCYTH-CTUA) por su colaboración.

Al personal del Centro Interamericano de Desarrollo Ambiental y Territorial (CIDIAT).

Al Banco Interamericano de Desarrollo (BID) por el otorgamiento de la beca para el desarrollo de la Maestría.

A las personas que de diferente forma contribuyeron a la realización de este trabajo.



INDICE

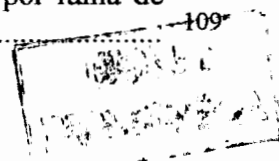
AGRADECIMIENTOS.....	iii
LISTA DE TABLAS.....	ix
LISTA DE FIGURAS.....	xi
RESUMEN.....	xiii
CAPITULO I	
INTRODUCCION.....	1
Justificación.....	1
Objetivos.....	4
Generales.....	4
Específicos.....	4
CAPITULO II	
REVISION DE LA LITERATURA.....	5
Evaluación de la calidad del agua.....	5
Calidad del agua y contaminación. Definiciones.....	5
Programa de evaluación de calidad del agua.....	5
Significado e Importancia.....	5
Determinación de objetivos.....	6
Determinación del sustrato a analizar.....	7
Fuentes de Contaminación.....	7
Determinación de puntos y frecuencia de muestreo.....	8
Toma, preservación, almacenamiento y análisis de muestras.....	9
Comportamiento de los contaminantes.....	9
Variables hidrológicas y de calidad de agua.....	10
Selección de las variables considerando las fuentes de contaminación.....	15
Consideraciones especiales sobre la contaminación agrícola.....	17
Validación de la calidad de los datos.....	17
Interpretación de los datos.....	18
El área de estudio.....	19
Descripción.....	19
El problema de la contaminación.....	20
Marco legal.....	21
Marco institucional.....	22
Fuentes de contaminación.....	23
Efluentes industriales.....	23
Efluentes domésticos.....	25
Usos del agua del área de riego.....	26
CAPITULO III	
METODOLOGIA DEL TRABAJO REALIZADO.....	27
Revisión bibliográfica.....	27
Entrevistas personales.....	27
Visitas a campo.....	28
Desarrollo de la metodología propuesta.....	28
Aplicación a un estudio de caso.....	28

CAPITULO IV	
RESULTADOS.....	29
CAPITULO V	
DISCUSION DE RESULTADOS.....	35
Análisis del flujograma.....	35
Determinar los objetivos del programa de evaluación de contaminación del agua superficial del área de riego. Paso 1	35
Identificar los usos del agua superficial en estudio. Paso 2	35
Identificar las fuentes de contaminación del agua del área y sus características. Paso 3	36
Seleccionar el medio apropiado a muestrear : agua, sedimentos, organismos vivos. Paso 4.....	37
Seleccionar las variables a incluir en la evaluación de la contaminación del agua. Paso 5.....	38
Seleccionar los puntos y la frecuencia de muestreo. Paso 6.....	39
Realizar la toma de muestra la medición de las variables hidrológicas y los análisis de laboratorio. Paso 7.....	39
Determinar el estado y nivel de contaminación de las aguas. Paso 8.....	40
Interpretar 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.....	41
Elaborar un informe sobre el programa de evaluación de la contaminación del agua del área de riego. Paso 10.....	42
CAPITULO VI	
ESTUDIO DE CASO.....	43
Aplicación del flujograma.....	43
Objetivos del programa. Paso 1.....	43
Usos del agua superficial. Paso 2.....	44
Fuentes de contaminación del agua del área de riego. Paso 3.....	45
Contaminación urbana.....	45
Contaminación industrial.....	47
Contaminación agrícola.....	50
Medio apropiado a muestrear. Paso 4.....	51
Variables a incluir en la evaluación de la contaminación del agua. Paso 5.....	51
Puntos y frecuencia de muestreo. Paso 6.....	52
Toma de muestras, medición de variables hidrológicas y análisis de Laboratorio. Paso 7.....	54
Estado y nivel de contaminación de las aguas. Paso 8.....	55
Interpretación de los datos. Paso 9.....	58
Sólidos Totales.....	58
Demanda química de oxígeno (DQO) y oxígeno disuelto.....	59
Nitrógeno (N).....	59

Fósforo (P)	60
Conductividad Eléctrica (CEA).....	60
Iones : Sodio y Cloruros.....	61
Coliformes totales.....	61
Informe sobre el programa de evaluación de la contaminación del agua del área de riego. Paso 10.....	62
CAPITULO VII	
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	63
Conclusiones y recomendaciones generales.....	63
Conclusiones.....	63
Recomendaciones.....	64
Conclusiones y recomendaciones del estudio de caso.....	65
Conclusiones.....	65
Recomendaciones.....	66
BIBLIOGRAFIA.....	69
APENDICES.....	73
<u>APENDICE 1</u> Directrices generales consideradas en el flujograma propuesto para evaluación de la contaminación del agua superficial de un área de riego.....	75
<u>APENDICE 2</u> Directrices consideradas en la aplicación del flujograma al área de riego de la cuenca inferior de río Tunuyán.....	93
<u>APENDICE 3</u> Variabilidad temporal y espacial de los principales indicadores de la calidad del agua de la cuenca inferior del río Tunuyán.....	139

LISTA DE TABLAS

1.1.	Selección de variables para la realización de evaluaciones de calidad de agua en relación a usos del agua no industriales.....	77
1.2.	Selección de variables para la realización de evaluaciones de calidad de agua en relación a usos del agua industriales.....	78
1.3.	Análisis de laboratorio necesarios para evaluar las aguas de riego.....	79
1.4.	Selección de variables para la realización de evaluaciones de calidad de agua en relación a fuentes de contaminación no industriales.....	80
1.5.	Composición típica de efluentes domésticos sin tratamiento y con tratamientos primario y secundario.....	82
1.6.	Selección de variables para la realización de evaluaciones de calidad de agua en relación a algunas fuentes de contaminación industrial.....	83
1.7.	Características principales de los medios usados para evaluaciones de calidad de agua.....	85
1.8.	Requerimientos especiales de muestreo, preservación y almacenamiento en el manejo de muestras.....	86
1.9.	Directrices para interpretar la calidad de las aguas para el riego.....	88
1.10.	Concentraciones máximas de oligoelementos recomendables para el riego.....	89
1.11.	Concentraciones máximas permitidas de las variables de calidad de agua para diferentes usos.....	90
1.12.	Directrices recomendadas sobre la calidad microbiológica de las aguas residuales empleadas en la agricultura.....	92
2.1.	Superficie cultivada por canal del área de riego del Tunuyán inferior para la campaña 1994 - 1995 (en ha).....	95
2.2.	Lista de variables para la realización de evaluaciones de contaminación del agua del área de riego del Tunuyán Inferior.....	96
2.3.	Población por sexo, departamento y urbano-rural de la Zona Este de Mendoza.....	99
2.4.	Cantidad de viviendas y población por sexo en localidades con más de 2000 habitantes de la Zona Este de Mendoza.....	99
2.5.	Viviendas y población total por fracción censal en los Departamentos de Junín, Rivadavia y San Martín.....	100
2.6.	Características de los efluentes que pueden ser volcados a colectoras y plantas de tratamiento de Obras Sanitarias Mendoza.....	101
2.7.	Análisis de afluentes y efluentes del establecimiento depurador Junín.....	103
2.8.	Análisis de afluentes y efluentes de la planta depuradora de San Martín.....	104
2.9.	Análisis de afluentes y efluentes de la red colectora de Rivadavia.....	105
2.10.	Agroindustrias ubicadas en el área de riego del Tunuyán inferior por rama de actividad y cantidad de personal empleado.....	106
2.11.	Características de los efluentes industriales para permitir su vuelco a cauces públicos de jurisdicción del Departamento General de Irrigación.....	108
2.12.	Agroindustrias ubicadas en el área de riego del Tunuyán inferior por rama de actividad y fracción censal.....	109



2.13.	Características de los efluentes industriales volcados a la red de riego y drenaje..	110
2.14.	Plaguicidas utilizados en los principales cultivos de la Provincia de Mendoza.....	111
2.15.	Resultados de los análisis físico-químicos de la cuenca inferior del río Tunuyán. Mendoza. Argentina.....	114
2.16.	Resultados de los análisis de cationes y aniones de la cuenca inferior del río Tunuyán. Mendoza. Argentina.....	119
2.17.	Resultados de los análisis microbiológicos de la cuenca inferior del río Tunuyán. Mendoza. Argentina.....	124
2.18.	Normas de calidad de aguas para la provincia de Mendoza.....	128
2.19.	Módulo anual, caudal máximo medio y número de días de corta al año para canales del área de riego del Tunuyán inferior (Datos del período 1981- 1988)...	131
2.20.	Caudal de los colectores de desagüe del área de riego del Tunuyán Inferior.....	132
2.21.	Estimación del balance iónico para la validación de la calidad de los datos analíticos de la cuenca inferior del río Tunuyán. Mendoza. Argentina.....	133
2.22.	Estimación del coeficiente k para la validación de los datos analíticos de la cuenca inferior del río Tunuyán. Mendoza. Argentina.....	136

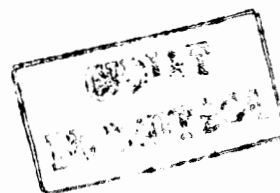
LISTA DE FIGURAS

Texto Principal

1.	Ubicación de la provincia de Mendoza (Argentina) en el mundo.....	2
2.	Area de riego de la cuenca media e inferior del río Tunuyán.....	3
3.	Flujograma propuesto para evaluar la contaminación del agua superficial de un área de riego.....	30
4.	Fracciones censales por departamento comprendidas en el área de riego de la cuenca media e inferior del río Tunuyán.....	49

Apéndice 3

3.1	Variabilidad temporal de los sólidos totales en los canales de riego.....	141
3.2	Variabilidad temporal de los sólidos totales en los colectores de desagüe.....	142
3.3	Variabilidad temporal de la DQO en los canales de riego	143
3.4	Variabilidad temporal de la DQO en los colectores de desagüe.....	144
3.5	Variabilidad temporal de la conductividad eléctrica en los canales de riego.....	145
3.6	Variabilidad temporal de la conductividad eléctrica en los colectores de desagüe	146
3.7	Variabilidad temporal del contenido de sodio en los canales de riego.....	147
3.8	Variabilidad temporal del contenido de sodio en los colectores de desagüe.....	148
3.9	Variabilidad temporal del contenido de cloruros en los canales de riego.....	149
3.10	Variabilidad temporal del contenido de cloruros en los colectores de desagüe.....	150
3.11	Variabilidad espacial del contenido de sodio en los canales de riego.....	151
3.12	Variabilidad espacial del contenido de sodio en los colectores de desagüe.....	152
3.13	Variabilidad espacial del contenido de cloruros en los canales de riego.....	153
3.14	Variabilidad espacial del contenido de cloruros en los colectores de desagüe.....	154



RESUMEN

El presente trabajo consistió en el desarrollo de una metodología para evaluar la contaminación del agua superficial de áreas de riego, en las cuales se realizan actividades agrícolas, industriales y urbanas; y su aplicación a un área seleccionada.

Se realizó en primer lugar una revisión bibliográfica, la cual permitió entender el significado de la contaminación del agua, conocer los principales aspectos a considerar en las evaluaciones de calidad del agua y reconocer la importancia en la gestión de los recursos hídricos.

La metodología propuesta se presenta bajo la forma de un flujograma, cuyos pasos a seguir pueden guiar a los responsables de la ejecución de un programa de evaluación de contaminación del agua, desde la definición de sus objetivos hasta la elaboración del informe final.

La aplicación del flujograma al área de riego de la cuenca inferior del río Tunuyán, Mendoza, Argentina, permitió profundizar el diagnóstico de la calidad del agua, contribuyendo a identificar las causas de la contaminación y brindando pautas para el establecimiento de un programa de seguimiento de la calidad del agua en el área. A su vez, el proceso de aplicación, retroalimentó la elaboración del flujograma, a través del reordenamiento de sus pasos y la ampliación de las actividades de algunos de ellos.

Este trabajo permitió concluir que el adecuado diseño y ejecución de programas de evaluación de la contaminación del agua es esencial para facilitar la toma de decisiones de las instituciones que gestionan el agua y contribuir así a la conservación de los recursos hídricos.

CAPITULO I

INTRODUCCION

Justificación

La cuenca inferior del río Tunuyán está ubicada en la provincia de Mendoza, oeste árido de la Argentina (Figura 1). Tiene una superficie de 85.000 ha y se asientan en ella cuatro ciudades: San Martín, Rivadavia, Junín y Palmira (Figura 2), donde viven unas 200.000 personas; cuya actividad económica agrícola, urbana e industrial depende del agua.

El crecimiento urbano e industrial de la cuenca se ha producido sin planificación y ha ocupado tierras que estaban dedicadas a la agricultura. Esto ha provocado un incremento en el riesgo de contaminación del agua que se deriva de los diques de cabecera y que atraviesa una extensa región a través de canales a cielo abierto hasta llegar a la zona agrícola en donde es usada con fines de regadío. En su recorrido recibe tanto las descargas de los pueblos e industrias por las que pasa, así como los residuos de pesticidas y fertilizantes usados por los agricultores en el área de cultivo. A su vez, el exceso de agua aplicada pasa a la red de drenaje, la cual debido a la escasez, es reusada incorporando al suelo los restos de contaminantes que ha ido recolectando desde el dique hasta la parcela cultivada.

La contaminación del agua tiene tres orígenes: urbana, agrícola e industrial. La contaminación urbana es ocasionada por el vuelco de basura domiciliaria a la red, motivada por la distribución de las acequias dentro de las ciudades, y la descarga de aguas servidas domiciliarias a la red de riego, en ciertos sectores, sin un tratamiento adecuado. Parte de estas aguas son reusadas para riego de cultivos, con los consiguientes riesgos para la salud. La contaminación agrícola es producida por restos de fertilizantes y pesticidas, que son llevados a los colectores de desagüe, cuyas aguas son algunas veces reusadas pudiendo contaminar el suelo y el agua y produciendo la eutroficación de embalses y canales. La contaminación industrial es generada por las diversas industrias instaladas en las áreas de riego que vuelcan sus efluentes a la red, predominan las agroindustrias pero debe mencionarse también la contaminación cuyo origen es la extracción y explotación del petróleo.

Un estudio reciente demostró que existe contaminación, principalmente en las aguas de los colectores de desagüe de la cuenca inferior del río Tunuyán. La calidad del agua ha disminuido en la zona de forma tal, que en la actualidad no se puede beber, mientras que veinte años atrás se consumía sin peligro. En este sentido, es urgente prestar atención a este problema que puede poner en peligro el futuro agrícola de la zona y la calidad de vida de sus habitantes.



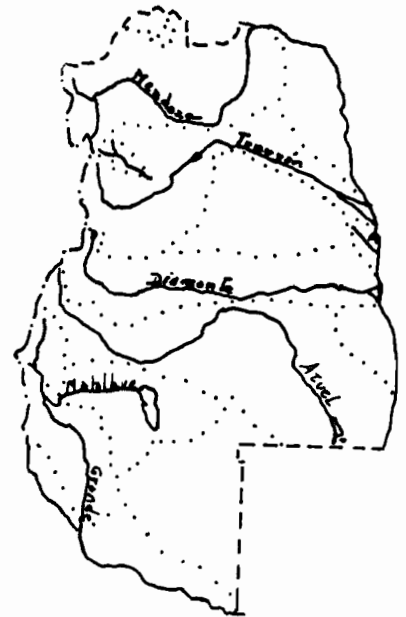
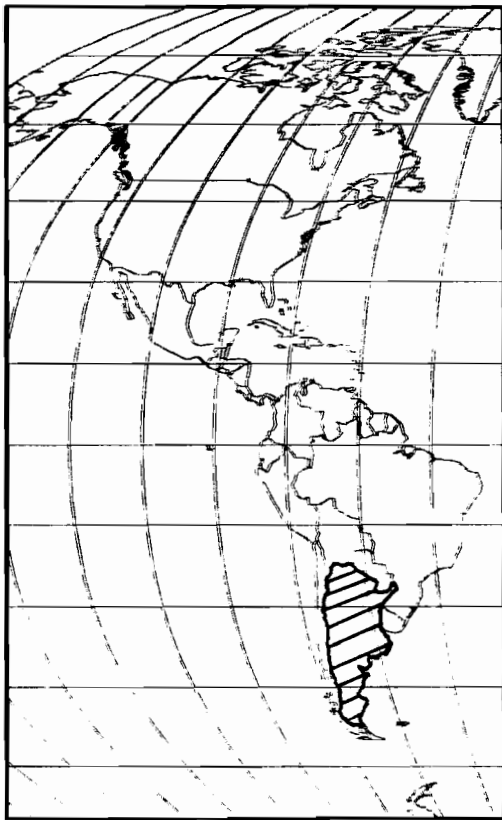
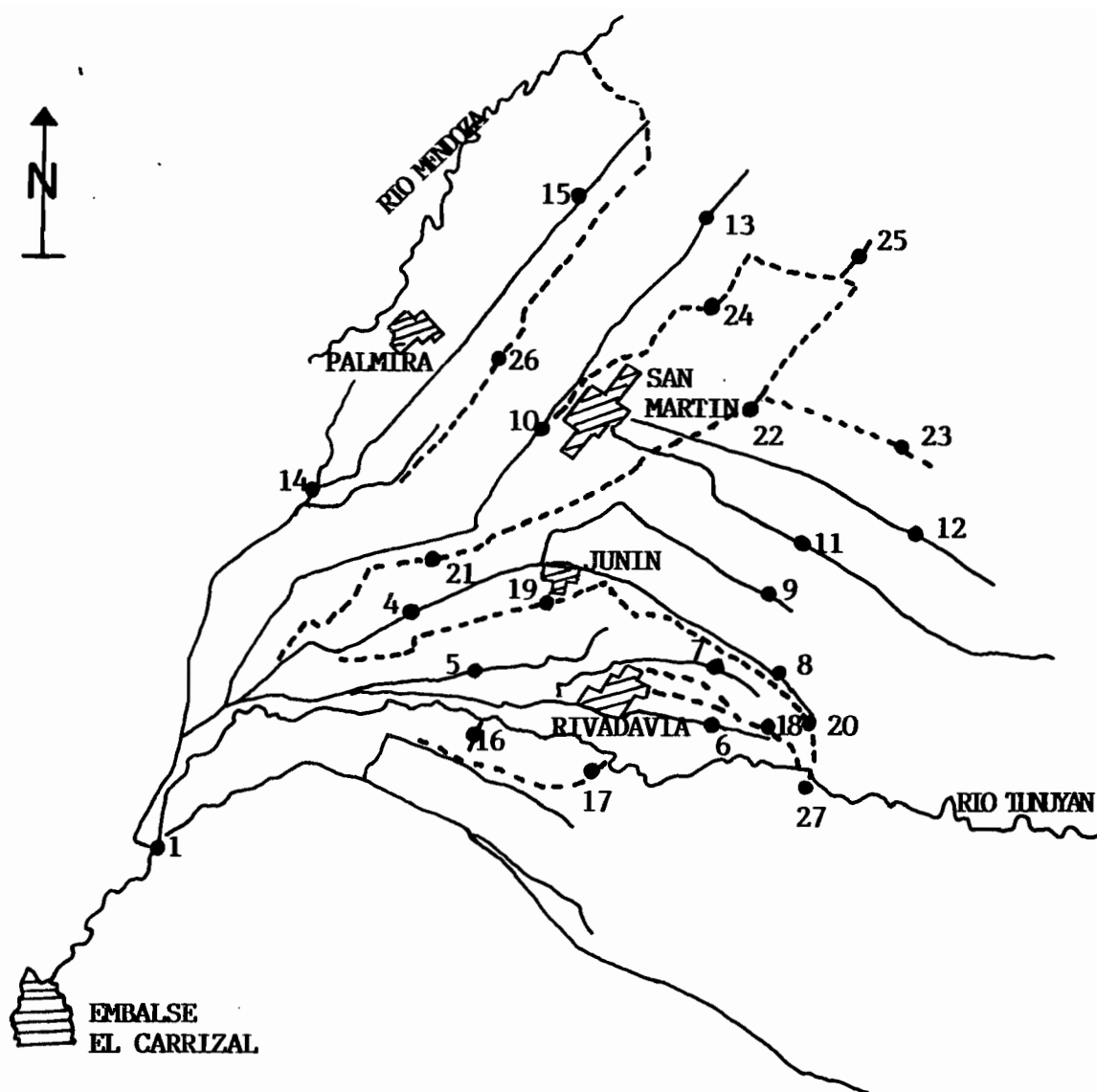


Fig. 1. Ubicación de la provincia de Mendoza (Argentina) en el mundo



LEYENDA

- Canales de Riego
- - - - - Colectores de desagüe
- Puntos de muestreo

Fig. 2. Area de riego de la cuenca media e inferior del río Tunuyán

El estudio que da las bases para el presente trabajo comprende el análisis de variables físicas, químicas y microbiológicas del agua, con el fin de presentar un diagnóstico general de la calidad del agua de la cuenca, pero a su vez, indica la necesidad de profundizar el diagnóstico e identificar las relaciones causa-efecto entre las fuentes contaminantes y el deterioro de la calidad de las aguas.

El presente trabajo intenta profundizar el análisis de las variables muestreadas para identificar e interpretar el origen y la magnitud de la contaminación de las aguas en la zona, con el fin de brindar pautas para el diseño de un programa de evaluación de la calidad del agua operacional, que permita la evaluación continua del recurso y la toma de decisiones de las instituciones que gestionan el agua a nivel local.

Trascendiendo la óptica local, este estudio propone una metodología para la evaluación de la contaminación del agua, que puede ser de utilidad como guía para planificadores e investigadores en áreas de riego de similares características a la estudiada, que presenten contaminación urbana, agrícola y/o industrial, desde la definición de los objetivos del programa de evaluación hasta la preparación del informe final.

Objetivos

Generales

Desarrollar una metodología para evaluar la contaminación del agua superficial de áreas de riego en las que se realizan actividades agrícolas, industriales y/o urbanas.

Específicos

Proponer una serie de pasos a seguir para la realización de evaluaciones de contaminación del agua superficial en áreas de riego.

Elaborar un diagnóstico de la calidad del agua superficial del área de riego de la cuenca inferior del río Tunuyán.

Identificar las relaciones causa-efecto entre las fuentes contaminantes y la calidad del agua superficial del área de riego de la cuenca inferior del río Tunuyán.

Brindar pautas para la gestión del control y seguimiento de la contaminación en el área de riego de la cuenca inferior del río Tunuyán.

CAPITULO II

REVISION DE LA LITERATURA

Se presenta en este capítulo una breve reseña de los temas principales que han sido consultados para la definición de este estudio, entre ellos, los siguientes: calidad del agua y contaminación; evaluación de la calidad del agua, importancia y principales características; y el área de estudio incluyendo descripción, fuentes de contaminación y usos del agua y marcos legal e institucional.

Evaluación de la calidad del agua

Calidad del agua y contaminación. Definiciones

La calidad de un ambiente acuático se puede definir como un conjunto de concentraciones, especificaciones y particiones físicas de sustancias orgánicas e inorgánicas y la composición y estado de la biota acuática encontrada en un cuerpo de agua (Meybeck y Helmer, 1992).

La contaminación de un ambiente acuático significa la introducción por el hombre, directa o indirectamente, de sustancias o energías que resultan en efectos deteriorantes como: daños a organismos vivos, peligros a la salud humana, impedimento para las actividades acuáticas incluyendo la pesca, desmejoramiento de la calidad del agua con respecto a sus usos en agricultura, industria y otras actividades económicas frecuentes y así como la reducción de sus posibilidades recreativas (GESAMP, 1988, citado por Meybeck y Helmer, 1992).

Aguas contaminadas son aquellas cuya composición o estado es alterado como consecuencia directa o indirecta de las actividades del hombre, por lo que resultan menos adecuadas para todos o algunos de los usos que hubiera permitido su estado natural (OMS, s/f, citado por Fasciolo, 1991.a).

Programa de evaluación de calidad del agua

Significado e Importancia

La evaluación de la calidad del agua es un estudio de la naturaleza física, química y biológica en relación con la calidad natural, efectos humanos y usos propuestos,



particularmente los usos que pueden afectar a la salud humana y al sistema acuático en sí mismo. Esta evaluación incluye seguimiento para definir la condición del agua, proveer las bases para detectar tendencias y suministrar la información necesaria para el establecimiento de las relaciones causa-efecto (Meybeck y Helmer, 1992).

La resolución de los problemas relacionados con la calidad del agua comienza por la realización de un estudio metódico, identificando los contaminantes presentes y midiendo sus concentraciones para contrastarlas con los límites establecidos para la calidad del agua según los usos específicos. Estos estudios permiten identificar los principales contaminantes, las fuentes, el estado de la calidad del agua y los efectos sobre el medio, así como seleccionar los métodos de control adecuados (Cubillos, 1981).

La principal razón para evaluar la calidad del agua, según Meybeck, Kimstach y Helmer (1992), ha sido la necesidad de verificar si es adecuada para un uso propuesto. El seguimiento se realiza para determinar tendencias en la calidad de los ambientes acuáticos y la forma en que son afectados por la liberación de contaminantes, productos de actividades antrópicas y/o operaciones de tratamiento de residuos.

El seguimiento está basado en recolección, evaluación e informe de datos. Los datos son recolectados en puntos en los cuerpos de agua, que son ubicados geográficamente por la longitud (x), latitud (y) del sitio de muestreo o medición y también caracterizados por la profundidad (z) a la cual la muestra es tomada. Otro dato que debe ser registrado es el tiempo (t) en que la muestra es extraída y en el caso de los ríos, además debe conocerse el caudal (Q). Las variables físicas, químicas y biológicas serán medidas como una concentración (c) o cantidad, la cual es función de los parámetros indicados $c = f(x, y, z, t)$ (Meybeck, Kimstach y Helmer, 1992).

Hay dos tipos diferentes de programas de evaluación de calidad del agua: de objetivo simple y de objetivos múltiples (Meybeck, Kimstach y Helmer, 1992). Este último cubre varios usos del agua y un gran grupo de variables. El programa puede focalizar en la distribución espacial del agua (gran número de estaciones), en las tendencias (gran frecuencia de muestreo) o en los contaminantes (inventarios en profundidad). Consecuentemente los programas de seguimiento preliminares de corta duración son necesarios para determinar las principales variables de un programa operacional.

Determinación de objetivos

El primer paso para elaborar un programa de evaluación de la calidad del agua es la determinación de objetivos. Para ello se debe comenzar con una investigación en profundidad de todos los factores y actividades que ejercen una influencia directa o indirecta sobre la calidad del agua. Los inventarios deben contener: perfiles geográficos del área, usos del agua y fuentes de contaminación (Meybeck, Kimstach y Helmer, 1992).

Entre los aspectos determinantes de los objetivos del programa están los usos del cuerpo de agua, por lo tanto se deberá decidir para cada situación los parámetros a medir, la frecuencia de las mediciones, los sitios de muestreo y los impactos sobre el ambiente que se evaluarán (Cubillos, 1981).

Los propósitos de los programas preliminares de calidad del agua son: (i) determinar la variabilidad temporal y espacial de la calidad del agua para seleccionar estaciones y frecuencias de muestreo; (ii) determinar los indicadores clave a ser considerados; y (iii) evaluar la factibilidad y costo de un programa de seguimiento operacional. Los programas preliminares son considerados necesarios para el diseño de programas multiobjetivo o multipropósito (Meybeck, Kimstach y Helmer, 1992).

Una vez que los objetivos han sido identificados, según Meybeck, Kimstach y Helmer (1992), tres pasos son esenciales para el buen diseño de un programa de evaluación de calidad del agua: 1. Selección del medio apropiado a muestrear: los principales medios usados son agua, sedimentos y organismos vivos, siendo el agua el comúnmente analizado. 2. Determinación de la variabilidad de la calidad del agua a través de programas preliminares: la mayor variabilidad se registra en ríos. Los cuatro parámetros considerados (x,y,z,t) no son igualmente importantes en los diferentes cuerpos de agua. Los ríos tienen generalmente una sola dimensión espacial (longitudinal) y una variabilidad temporal pronunciada. Es esencial tener suficiente conocimiento de la hidrodinámica de cada cuerpo de agua. 3. Integración del seguimiento hidrológico y de calidad del agua: toda interpretación de los resultados analíticos de la calidad del agua debe relacionarse con los datos hidrométricos del cuerpo de agua.

Determinación del sustrato a analizar

El sustrato (agua, sedimentos o biota) seleccionado para monitorear depende de las propiedades ambientales de las variables de interés y de los objetivos del programa. Frecuentemente los cambios producidos por el hombre en la estructura o calidad de un río producen cambios en las comunidades biológicas, que una vez identificados pueden usarse para realizar el control de los cambios en el ambiente del río (Meybeck, Friedrich, Thomas y Chapman, 1992).

Fuentes de contaminación

Las variaciones temporales y espaciales de la calidad del agua se deben a factores internos y externos del cuerpo de agua. La variabilidad temporal de los contaminantes en un cuerpo de agua permite clasificar las fuentes en cuatro categorías: fuentes permanentes o continuas (ej. residuos domésticos), fuentes periódicas (ej. variación estacional determinada por el flujo de turistas), ocasional (ej. ciertos residuos industriales) o accidental (ej. rotura de tanques, accidentes, incendios). La variabilidad temporal se puede describir mediante estudios

de concentraciones o determinando relaciones de sedimentación, biodegradación o transporte. La variación espacial de la calidad del agua puede ser estudiada por medio de perfiles longitudinales para el caso de los ríos (Meybeck y Helmer, 1992).

Las fuentes de contaminación también pueden clasificarse en puntuales o difusas. Una diferencia importante entre ambas es que las descargas de una fuente puntual, se pueden recolectar, tratar y controlar. Las principales fuentes puntuales de contaminación de las aguas provienen de la descarga de residuos domésticos, residuos industriales o ciertas actividades agrícolas como las labranzas. La mayoría de las otras actividades agrícolas, como aplicación de pesticidas y fertilizantes son consideradas fuentes difusas (Meybeck y Helmer, 1992).

Determinación de puntos y frecuencia de muestreo

El conocimiento de las fuentes puntuales y difusas y la consideración de las concentraciones de las variables relevantes y los caudales es importante para determinar la frecuencia de muestreo. Un muestreo mensual es limitado pero en grandes cuencas puede brindar buena representatividad de los datos sin necesidad de muestrear eventos específicos, aunque es conveniente que éstos sean considerados si pueden ser adecuadamente pronosticados (Meybeck et al., 1992). La determinación de momento y frecuencia de muestreo de la presencia de sustancias tóxicas, según CEPIS (1991), dependen de: a) los efectos agudos de las sustancias tóxicas descargadas en un corto tiempo, b) los efectos crónicos de sustancias tóxicas sobre la salud pública o el ecosistema acuático y c) la posible acumulación a largo plazo de la sustancia química en los sedimentos. En general es preferible un esquema de seguimiento en el cual se realizan varios muestreos intensivos durante el año, a un programa de seguimiento más disperso a lo largo del año.

La distribución espacial de las muestras debe tener en cuenta las principales confluencias y sectores según uso del agua (ej: centros urbanos, áreas agrícolas, complejos industriales). Cada estación debe proveer suficiente información sobre la adecuabilidad del agua para los usos destinados en el área y para determinar la calidad que será entregada a los usuarios aguas abajo. Si el río o canal es muy ancho se debe comprobar la representatividad de la estación de muestreo analizando tres sitios en una misma sección transversal y a tres profundidades, si los resultados indican que las muestras son homogéneas el sitio de muestreo es adecuado (Meybeck et al., 1992). Los tres factores principales para la definición de los puntos de muestreo, según CEPIS (1991) son: a) lugares críticos de interferencia de la descarga con el uso del agua, b) la presencia de más de una fuente descargando sustancias tóxicas al cuerpo de agua y c) la velocidad del cuerpo de agua y la tasa de pérdida de la sustancia química. Las estaciones de muestreo deben situarse aguas arriba y aguas abajo de todas las principales fuentes puntuales, fuentes dispersas y entradas de afluentes.

Toma, preservación, almacenamiento y análisis de muestras

Los métodos de muestreo más usuales son los de recolección en botella o con bomba de agua, aunque existen también los sistemas automáticos para muestrear y analizar el agua (Meybeck et al., 1992). Los métodos estándar para análisis químicos, tales como los publicados por APHA-AWWA-WPCF o AOAC proveen información sobre las formas de toma de muestras, preservación, almacenamiento y análisis de aguas. El laboratorio debe considerar la necesidad de contar con personal experimentado y adecuadamente entrenado, buena gerencia, instalaciones físicas y equipamiento adecuados, reactivos y estándares certificados, calibración frecuente de los instrumentos, replicación de los análisis y un programa de control de calidad. Un buen programa de control de la calidad analítica tiene tres factores: a) uso de métodos que han sido estudiados y encontrados aceptables, o sea métodos estándar; b) análisis rutinario de una muestra control al menos una cada día en la cual muestras no conocidas están siendo analizadas y c) requerimiento de análisis de unas pocas muestras, una o dos veces al año, a un laboratorio de referencia. (APHA-AWWA-WPCF, 1985).

Comportamiento de los contaminantes

Según Stumm (1992), la concentración de un contaminante es una consecuencia de la dilución, transporte y transformación del químico. A su vez, su distribución en el ambiente depende de sus propiedades específicas. Para una evaluación del riesgo ecológico se necesita conocer las concentraciones residuales de contaminantes, que pueden estimarse a través de una predicción de su destino relevante y tiempo de permanencia (considerando el recorrido relevante, los procesos de cambio, conversiones biológicas y químicas) o sobre la base de determinaciones analíticas en las aguas de recepción. El conocimiento de los mecanismos básicos por los cuales los efectos tóxicos ejercen sus efectos dañinos es fundamental para el entendimiento de las respuestas biológicas. La comprensión de la interacción de los componentes químicos en el sistema natural depende del reconocimiento de la complejidad del ambiente. Esto requiere una adecuada metodología analítica, especialmente la habilidad para detectar componentes individuales selectivamente y para medirlos exactamente y con adecuada sensibilidad.

El comportamiento de un contaminante, aguas abajo de la zona de descarga, depende de las características del cuerpo de agua y de las propiedades químicas de la sustancia (volatilización, biodegradabilidad, partición a los sólidos suspendidos). Por lo tanto la toxicidad del efluente aguas abajo depende de la dilución en el cuerpo de agua y de la tasa de pérdida de la sustancia química. A los fines de esta evaluación debe distinguirse entre sustancias conservativas (ej.; cloruros, sólidos totales disueltos) y no conservativas. Estas últimas son las que sufren pérdidas por biodegradación, volatilización u otra causa (ej: sustancias químicas orgánicas de baja solubilidad en agua). Entonces, la descarga de una sustancia conservativa, sin dilución adicional, presentará una concentración constante en la

dirección aguas abajo. Si existe dilución, una sustancia conservativa puede mostrar un comportamiento aparentemente no conservativo, ya que presenta una pérdida exponencial de la sustancia debido a la dilución aguas abajo. Si la sustancia tóxica no es conservativa y también ocurre dilución, la pérdida es aún mayor. Debe considerarse también el efecto acumulativo de las descargas adicionales o los tributarios que ingresan aguas abajo de las descargas identificadas, ya que éstas pueden no ser contaminantes por sí solas pero su agregación puede transformarse en tóxica para el cuerpo de agua (CEPIS, 1991).

Variables hidrológicas y de calidad de agua

Definiciones. Las variables a incluir en una evaluación de la calidad del agua, según Chapman y Kimstach (1992), son las siguientes:

Variables hidrológicas: velocidad, caudal y dinámica de la materia suspendida. El conocimiento del régimen hidrológico del río es esencial.

Variables generales: temperatura, color, olor, sólidos totales, suspendidos y disueltos, turbidez, conductividad, pH, acidez, alcalinidad, oxígeno disuelto, dureza, compuestos de nitrógeno, compuestos de fósforo y materia orgánica (carbono orgánico total, demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno). Entre los iones principales: sodio, potasio, calcio, magnesio, carbonatos y bicarbonatos, cloruros, sulfatos. Otras variables inorgánicas: sulfitos, sílice, fluoruros, boro y cianuro. Metales: aluminio, cadmio, cromo, cobre, hierro, mercurio, manganeso, níquel, plomo, zinc, arsénico y selenio. Contaminantes orgánicos: aceites minerales, hidrocarburos, fenoles, pesticidas (organoclorados, organofosforados, etc.) y surfactantes. Indicadores microbiológicos.

Dentro de las variables hidrológicas mencionadas por Meybeck et al. (1992) se presentan velocidad y caudal:

Velocidad: es la tasa de movimiento del agua, se expresa en m/seg o cm/seg. El conocimiento del flujo de la corriente de agua y los gradientes de velocidad es necesario para diseñar un programa de muestreo de agua e interpretar sus resultados. Las máximas velocidades ocurren en el centro del canal pero se reducen a cero en los bordes por las fuerzas de fricción. El gradiente de velocidad tiende a forzar las aguas de un tributario, fuente puntual municipal o industrial hacia el lado del río por el cual ingresa y luego de un cierto recorrido que depende del flujo del río se produce la mezcla completa.

Caudal: es la velocidad por el área transversal del río. Es la medición más importante porque provee una medida directa de la cantidad de agua y de la disponibilidad de agua para usos específicos, permite el cálculo de los pesos de las variables específicas de la calidad del agua, caracteriza los orígenes de muchas variables de calidad por la relación entre concentraciones y caudal y provee bases para el entendimiento de los procesos en la cuenca y es esencial para interpretar y entender la calidad del agua.

Entre las variables generales presentadas por Chapman y Kimstach (1992) se describen las siguientes:

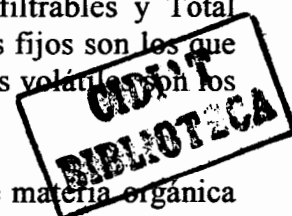
Temperatura: en cuerpos de agua superficial está influenciada por latitud, altitud, estación, hora del día, circulación de aire, cobertura de nubes y el flujo y la profundidad del cuerpo de agua. Afecta a los procesos físicos, químicos y biológicos y por lo tanto a la concentración de muchas variables. Cuando la temperatura aumenta las reacciones químicas se incrementan junto con la evaporación y la volatilización de sustancias a partir del agua. El aumento de temperatura disminuye la solubilidad de gases, tales como O_2 , CO_2 , N_2 , CH_4 y otros. La tasa metabólica de los organismos acuáticos está relacionada con la temperatura, cuando ésta es alta se aumenta la respiración llevando a aumentar tanto el consumo de O_2 como la descomposición de materia orgánica. Las tasas de crecimiento también aumentan llevando a incrementar la turbidez del agua, el crecimiento de macrófitas y la floración de algas, cuando las condiciones de nutrientes son adecuadas.

Color: el color visible del agua es el resultado de las diferentes longitudes de onda no absorbidas por el agua, o de las sustancias disueltas en ella. Se puede medir el color verdadero y el aparente. Los minerales naturales como hidróxido férrico y sustancias orgánicas como ácidos húmicos, dan color verdadero al agua. El color aparente es causado por partículas coloreadas como por la refracción y reflexión de la luz sobre las partículas suspendidas. Diferentes especies de fito y zooplancton también pueden dar color aparente.

Olor: generalmente es el resultado de compuestos orgánicos volátiles lábiles y puede ser producido por fitoplancton y plantas acuáticas o por descomposición de materia orgánica. Residuos humanos o industriales pueden también crear olores directamente o como resultado de la actividad biológica que estimulan. Compuestos orgánicos, químicos inorgánicos, aceite y gases pueden impartir olor al agua; sin embargo un olor no es automáticamente indicador de la presencia de sustancias peligrosas. Usualmente, la presencia de un olor sugiere actividad biológica mayor a la normal y es un test simple para la adecuabilidad del agua potable, ya que el sentido del olfato del hombre es más sensible que el gusto a bajas concentraciones de sustancias. La temperatura y los diferentes niveles de pH afectan la tasa y la producción de metabolitos que causan olor.

Sólidos totales, suspendidos y disueltos: son las sustancias remanentes después de la evaporación de una muestra de agua y su secado en horno a una temperatura dada. Es aproximadamente equivalente al contenido total de materia disuelta y suspendida en el agua ya que la mitad del bicarbonato es transformado a CO_2 durante este proceso. El parámetro Total Sólidos Suspendidos (TSS) incluye los residuos no filtrables y Total Sólidos Disueltos (TDS) son los residuos filtrables. A su vez, los sólidos fijos son los que quedan después del secado en horno a una temperatura dada y los sólidos volátiles son los que se pierden después del secado en horno a una temperatura dada.

Turbidez: es causada por sedimentos, arcilla, partículas finas de materia orgánica e inorgánica, compuestos orgánicos solubles, plancton y otros organismos microscópicos.



La turbidez resulta de la dispersión y absorción de la luz incidente sobre las partículas y puede variar estacionalmente de acuerdo con la actividad biológica.

Conductividad: es una medida de la habilidad del agua para conducir una corriente eléctrica. La conductividad es sensible a variaciones en los sólidos disueltos, principalmente sales minerales. El TDS (mg/l) puede obtenerse multiplicando la conductividad por un factor que está comúnmente entre 0,55 y 0,75. La conductividad de aguas naturales está en el rango entre 10 y 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y puede excederlo en aguas contaminadas o aquellas que reciben gran cantidad de descargas de tierras de cultivo.

pH, acidez y alcalinidad: el pH indica la intensidad del carácter ácido o básico de una solución y es determinado por los compuestos químicos disueltos y los procesos bioquímicos. Es una variable importante que influye en muchos procesos biológicos y químicos en un cuerpo de agua, así como en todos los procesos asociados con el suministro y tratamiento del agua. En aguas contaminadas, el pH es determinado principalmente por el balance entre CO_2 , iones carbonatos y bicarbonatos y otros compuestos naturales como ácidos húmicos y fúlvicos. El pH de la mayoría de las aguas está entre 6 y 8,5; sin embargo valores más bajos pueden presentarse en aguas con alto contenido orgánico. Acidez y alcalinidad son las capacidades de neutralizar bases y ácidos de un cuerpo de agua. Se expresan en mmol/l. La acidez es controlada por ácidos minerales fuertes, ácidos como el carbónico, húmicos y fúlvicos y sales de metales (ej. hierro y aluminio). La alcalinidad es tomada como un indicador de la concentración de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos; pero puede incluir también boratos, fosfatos y silicatos.

Oxígeno disuelto: el contenido en las aguas varía con la temperatura, la salinidad, la turbulencia, la actividad fotosintética de las algas y plantas y la presión atmosférica. La solubilidad del O_2 decrece cuando la temperatura y la salinidad aumentan. Los rangos de O_2 disuelto son de 15 mg/l a 0°C a 8 mg/l a 25°C . Puede también expresarse en porcentaje de saturación, menor a 80% en agua potable puede ser detectada por los consumidores como resultado del olor y el gusto. La respiración y los procesos de descomposición reducen la concentración de oxígeno disuelto. Descargas de residuos con alto contenido de materia orgánica y nutrientes pueden llevar a disminuir las concentraciones de oxígeno disuelto como resultado del aumento de la actividad microbiológica (respiración) que ocurre durante la degradación de la materia orgánica. Concentraciones debajo de 5 mg/l pueden afectar el funcionamiento y la supervivencia de las comunidades biológicas y por debajo de 2 mg/l pueden producir la muerte de la mayoría de los peces. Puede ser usado para indicar el grado de contaminación por materia orgánica, la destrucción de sustancias orgánicas y el nivel de autpurificación del agua.

Dureza: depende principalmente de la presencia de sales de Ca y Mg disueltas. La dureza se puede dividir en dureza por carbonatos (determinada por concentraciones de hidrocarbonatos de Ca y Mg) y dureza por no - carbonatos (determinada por sales de Ca y Mg de ácidos fuertes). La primera es conocida como temporaria o removible y la otra como constante. Usualmente la dureza por Ca es más frecuente que la producida por Mg.

Compuestos de nitrógeno: el nitrógeno es esencial para los organismos vivos como un importante constituyente de las proteínas, incluyendo el material genético. El amonio es un indicador útil de contenido orgánico. Altas concentraciones de amonio pueden ser indicio de contaminación orgánica por desagües domésticos, residuos industriales y descargas de fertilizantes. Nitratos y nitritos: las aguas influenciadas por actividades humanas normalmente contienen concentración de nitratos superior a 5 mg/l de $\text{NO}_3\text{-N}$, valores que indican posible contaminación por aguas residuales municipales e industriales, lixiviados de sitios de disposición de residuos o descarga de fertilizantes. Para agua potable el límite máximo según la OMS es 10 mg/l, concentraciones mayores son un riesgo para la salud. Las concentraciones de nitritos son usualmente muy bajas, 0,001 mg/l $\text{NO}_2\text{-N}$ y raramente más altas que 1 mg/l. Altas concentraciones de nitritos son generalmente indicativas de efluentes industriales y son frecuentemente asociados con insatisfactoria calidad microbiológica del agua. La determinación de nitratos y nitritos da una indicación general del status de nutrientes y del nivel de contaminación orgánica.

Compuestos de Fósforo: el fósforo es un nutriente esencial para los organismos vivos y existe en cuerpos de agua en formas disueltas y en partículas. Controla la productividad primaria de un cuerpo de agua. Las fuentes naturales de P son principalmente la meteorización de las rocas y la descomposición de materia orgánica. Aguas de residuos domésticos, particularmente los que contienen detergentes, efluentes industriales y descarga de fertilizantes, contribuyen a elevar los niveles de P. El rango de P es de 0,005 a 0,020 mg/l $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ en las aguas naturales. Niveles más altos indican contaminación y son responsables de condiciones de eutroficación.

Materia orgánica: puede medirse como carbono orgánico total (COT) o a través de la medición de propiedades relacionadas, principalmente la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) o la demanda química de oxígeno (DQO). La DQO incluye usualmente toda la DBO, en general $\text{DQO} > \text{DBO} > \text{COT}$. La DQO es una medida del O_2 equivalente de la materia orgánica en una muestra de agua que es susceptible a oxidarse por oxidantes químicos pesados, tales como dicromatos. Es ampliamente usada como una medida de la susceptibilidad a la oxidación de los materiales orgánicos e inorgánicos presentes en un cuerpo de agua y en los efluentes de desagües cloacales y plantas industriales. El test DQO es no específico debido a que no se puede diferenciar entre materia orgánica e inorgánica presente y no indica el total de carbono orgánico presente, porque algunos compuestos orgánicos no son oxidados por el dicromato. Las concentraciones de DQO son de 20 mg/l O_2 o menos, en aguas no contaminadas, hasta 200 mg/l en aguas que reciben efluentes. Aguas de residuos industriales pueden tener niveles de 100 a 60.000 mg/l O_2 . La DBO es una medida de la cantidad de materia orgánica degradable bioquímicamente presente en una muestra de agua. Es la cantidad de O_2 requerida por los microorganismos aeróbicos presentes en la muestra para oxidar la materia orgánica a formas inorgánicas estables. En aguas no contaminadas la DBO tiene valores de 2 mg/l O_2 o menos y aquellas que reciben residuos tienen valores superiores a 10 mg/l O_2 o más.

Sodio (Na): todas las aguas naturales contienen Na, ya que sus sales son altamente solubles en agua y es uno de los elementos más abundantes en la tierra. Altos niveles en

cuerpos de agua pueden surgir de aguas cloacales y efluentes industriales. Los valores pueden ser de 1 mg/l o menos, a 10^5 mg/l. La OMS limita el Na para agua potable a 200 mg/l. La tasa de adsorción de sodio (RAS) es usada para evaluar la adecuación de un agua para riego. Altos valores de RAS implican que el Na aplicado en el agua de riego puede reemplazar al Ca y al Mg en el suelo causando daños en la estructura del suelo.

Potasio (K): es encontrado en bajas concentraciones en aguas naturales porque las rocas que contiene K son relativamente resistentes a la meteorización. Las sales de K son ampliamente usadas en industrias y en fertilizantes para la agricultura, y entran a las aguas por descargas industriales y lixiviado de tierras agrícolas. Sus sales son altamente solubles. Las concentraciones en aguas naturales son usualmente menores a 10 mg/l, sin embargo, concentraciones de 100 a 25.000 mg/l pueden ocurrir en manantiales y aguas saladas respectivamente.

Calcio (Ca): está presente como Ca^{2+} y es fácilmente disuelto a partir de rocas ricas en minerales de Ca. Las sales de Ca junto a las de Mg, son responsables de la dureza del agua. Las concentraciones de Ca en aguas naturales son generalmente menores a 15 mg/l y para aguas asociadas con rocas ricas en carbonato los valores pueden oscilar entre 30 y 100 mg/l. Las aguas residuales municipales e industriales incrementan la concentración de Ca de las aguas superficiales.

Magnesio (Mg): es común en agua como ión Mg^{2+} , junto con el calcio contribuye a la dureza del agua. Mg aparece en muchos compuestos organometálicos y en materia orgánica. Los niveles naturales de Mg en agua pueden ser de 1 a 100 mg/l dependiendo del tipo de rocas de la cuenca. El Mg es usado en muchos procesos industriales, pero éstos contribuyen poco al total de Mg en aguas superficiales.

Carbonatos y bicarbonatos: influyen en la dureza y alcalinidad del agua. La meteorización de rocas contribuye a las sales carbónicas y no carbónicas. Las cantidades relativas de carbonatos, bicarbonatos y ácidos carbónicos en aguas puras están relacionados con el pH. El bicarbonato es el anión dominante en la mayoría de las aguas superficiales, ya que éstas raramente exceden el pH 9, que favorece la presencia de carbonatos. Las concentraciones de bicarbonatos en aguas superficiales son usualmente menores a 500 mg/l y comúnmente menores a 25 mg/l.

Cloruros (Cl^-): llegan a las aguas superficiales con la deposición atmosférica de los aerosoles oceánicos, con la meteorización de algunas rocas sedimentarias, a partir de efluentes industriales, aguas cloacales y lixiviación de tierras agrícolas y de caminos. En aguas prístinas las concentraciones son tan bajas como 10 mg/l, concentraciones mayores se encuentran cerca de descargas de efluentes, drenes de riego, intrusiones salinas, en zonas áridas y en áreas costeras húmedas. Los cloruros están frecuentemente asociados con aguas cloacales, son incorporados a las evaluaciones sobre calidad del agua como un indicador de posible contaminación fecal o como una medida de la extensión de la dispersión de las descargas cloacales en cuerpos de agua.

Sulfatos (SO_4^{2-}): llegan a las aguas superficiales a partir de la deposición atmosférica de aerosol oceánico, la lixiviación de compuestos con azufre y a partir de rocas sedimentarias. Descargas industriales y precipitación atmosférica pueden adicionar cantidades significativas de sulfatos a las aguas. Las concentraciones de sulfatos en aguas naturales son usualmente entre 2 y 80 mg/l y los niveles pueden exceder los 1000 mg/l cerca de descargas industriales.

Indicadores microbiológicos: el riesgo más común para la salud humana está asociado con la presencia de microorganismos causantes de enfermedades. Aguas cloacales, descargas rurales y urbanas y residuos domésticos son ampliamente descargados a los cuerpos de agua. Otras fuentes de contaminación son los lixiviados de rellenos sanitarios y sitios de disposición de residuos sólidos urbanos. Las descargas municipales pueden contener de 10 a 100 millones de bacterias coliformes por cada 100 ml y 1 a 50 millones *Escherichia coli* o streptococos fecales por cada 100 ml. Diferentes niveles de tratamiento pueden reducir esto 10 a 100 veces y estas concentraciones se reducirán aún más por la dilución de las aguas receptoras. La supervivencia de los patógenos en el cuerpo de agua es altamente variable dependiendo de la calidad de las aguas receptoras, particularmente turbidez, nivel de oxígeno, nutrientes y temperatura. Los microorganismos se pueden absorber en las arenas, arcillas y sedimentos. Los cuerpos de agua en áreas de alta densidad de población pueden tener cantidades superiores a 10 millones de organismos/100 ml. La OMS recomienda, para agua potable, concentraciones de 0 organismos/100 ml. El seguimiento de la presencia de bacterias patógenas es un componente esencial de una evaluación de calidad de agua, donde el uso del agua, directa o indirectamente lleva a la ingestión humana. Tales usos incluyen bebida, higiene personal, recreación, riego de cultivos, lavado y procesamiento de productos alimenticios. Menos de 10^3 coliformes/100ml presenta poco riesgo de enfermedades intestinales, sin embargo, el riesgo de infecciones virósicas persiste.

Selección de las variables considerando las fuentes de contaminación

Sintetizando lo referente a la selección de variables a incluir en las evaluaciones de la calidad del agua, Chapman y Kimstach (1992) dividen estos estudios en dos categorías: orientados al uso y orientados al impacto. Estos últimos examinan los efectos de actividades específicas sobre la calidad del agua. Así mismo, la selección de las variables es determinada por el conocimiento de las fuentes de contaminación y los impactos esperados en el cuerpo de agua receptor. Estas evaluaciones son llevadas a cabo en relación a descargas de efluentes, lixiviados urbanos y rurales o incidentes accidentales contaminantes. Las variables que deben ser incluidas en una evaluación de calidad del agua, de acuerdo a las fuentes de contaminación identificadas, son:

- Aguas residuales municipales: consisten en aguas cloacales, drenajes urbanos y otras aguas residuales colectadas. Usualmente, contienen materia fecal y materia orgánica. Las variables para medir residuos orgánicos son: DBO, DQO, cloruros, amonio y otros compuestos de N. Si los residuos contienen aguas cloacales, los indicadores fecales son importantes también.

- Drenes urbanos: en algunas ciudades el agua de lluvia es recolectada en drenes y tratada antes de su descarga al cuerpo de agua; en otras es canalizada directamente al cuerpo de agua más próximo. Las variables a considerar son las mismas que para las aguas residuales municipales. Los problemas particulares son los altos niveles de productos de petróleo y plomo debidos al tráfico automotor, así como otros contaminantes asociados con las industrias locales.

- Actividades agrícolas: asociadas principalmente con la materia orgánica e inorgánica y químicos incorporados en fertilizantes y pesticidas. El riego en zonas áridas puede llevar a la salinización de las aguas por lo cual se debe medir conductividad, cloruros, alcalinidad, sulfatos, flúor y sodio.

- Zonas de disposición de residuos sólidos municipales y residuos peligrosos: los lixiviados de estas zonas pueden contener muchos contaminantes incluyendo patógenos, metales y químicos orgánicos. Usualmente los lixiviados son ricos en materia orgánica biodegradable.

- Efluentes industriales: la mayoría de las industrias usan agua, directamente como parte del proceso manufacturero o indirectamente para enfriamiento, limpieza o circulación. Sus efluentes pueden contener diferentes químicos y materia orgánica, por lo tanto la selección de los contaminantes a medir debe basarse en un inventario de los insumos usados y descargados durante el proceso industrial.

Según Palange y Zabala (1989), entre las propiedades físicas más importantes a considerar en las aguas residuales municipales se encuentran: el contenido de sólidos totales (incluye residuos flotantes, residuos suspendidos, material coloidal y residuos en solución); el olor, la turbidez, la temperatura y el color. Respecto a la naturaleza química de estas aguas el principal indicador es la materia orgánica, evaluada con mayor frecuencia a través de la DBO y también de la DQO. Es recomendable medir, también, otras variables químicas como el pH, la alcalinidad, la presencia de cloruros, el nitrógeno y el fósforo. La identificación de los principales grupos de organismos presentes, la presencia de patógenos y los organismos que sirven como indicadores de los niveles de contaminación, es conveniente incluirlos como parte del examen biológico.

Palange y Zabala (1989) también indican la imposibilidad de dar una definición general sobre la naturaleza de los residuos industriales, ya que éstos presentan gran variación de composición y volumen, dependiendo de las materias primas y de los procesos y los productos finales de cada tipo de industria. A su vez, respecto a la contaminación proveniente de actividades agrícolas, se recomienda considerar sedimentos, nutrientes, plaguicidas, cargas orgánicas y organismos patógenos.

Consideraciones especiales sobre la contaminación agrícola

En zonas agrícolas es importante identificar la presencia de plaguicidas. Bianchi (1994) indica que las concentraciones detectadas en corrientes de agua son generalmente bajas, pero el uso continuado de los plaguicidas muy persistentes puede contaminar las aguas que reciben drenajes de tierras agrícolas. Una vez en el agua, los plaguicidas pueden evaporarse, permanecer en solución o en una suspensión suelo-plaguicida, o ser depositados en los sedimentos, asociándose generalmente a los sedimentos suspendidos. A su vez, en el ambiente sufren alteraciones pudiendo llegar a una activación química o a una degradación, o sufrir reacciones metabólicas por los microorganismos del suelo. Entre las características a considerar en un plaguicida se destacan la persistencia y la toxicidad. La persistencia depende de su movilidad y su degradabilidad, ambas están determinadas por interacciones físicas, químicas y biológicas de sus componentes y de éstos con el ambiente. Los plaguicidas pueden moverse en el suelo vertical o lateralmente. En zonas de riego y gran evaporación puede presentarse un movimiento ascendente de los plaguicidas. Los insecticidas, entre los que se agrupan los plaguicidas más tóxicos, en su mayoría son retenidos en la superficie del suelo y no son lixiviados como para contaminar las aguas subterráneas (Bianchi, 1994). La toxicidad debe considerarse porque indica el riesgo de exposición del hombre a los plaguicidas, sin embargo, cuando se consideran los efectos ambientales debe tenerse en cuenta que algunos productos que son ligeramente tóxicos para los humanos, como por ejemplo ciertos fungicidas, pueden inhibir el desarrollo de hongos, como las micorrizas del suelo, de gran importancia para el transporte de nutrientes hacia las plantas.

La identificación y determinación de residuos de plaguicidas es uno de los mayores problemas que enfrentan los analistas químicos. Existen cientos de compuestos de diferentes estructuras y propiedades químicas y físicas, además los procesos de degradación generan productos con diferentes características que los plaguicidas que les dieron origen y su formación depende también de las condiciones de cada ambiente. Es fundamental para la detección de plaguicidas el análisis de los sedimentos depositados en el fondo de los cuerpos de agua, estos datos deben combinarse con información del agua y los microorganismos acuáticos. Ultimamente, se han desarrollado diferentes métodos para analizar mezclas complejas de residuos de pesticidas, muchas de ellas dirigidas a simplificar los procedimientos. Existen a la venta kits para el análisis de diferentes plaguicidas a campo, con base en enzimas específicas (Bianchi, 1994).

Validación de la calidad de los datos

Una vez obtenidos los datos de laboratorio se debe realizar la validación de la calidad de los mismos, para lo cual pueden usarse varios procedimientos, entre los principales, válidos para aquellas muestras en las que se ha realizado el análisis de minerales completo, APHA-AWWA-WPCF (1985) mencionan el balance de aniones y cationes y la conductividad eléctrica. El primero considera que, en teoría, las sumas de cationes y aniones, en meq/l,

deben ser iguales. En la práctica esto no ocurre, recomienda entonces construir una gráfica para ver si la diferencia entre ambas sumas está dentro de los límites aceptables, la cual puede ser ± 1 desviación estándar. Los límites aceptables están dados por la ecuación: $\Sigma \text{ aniones} - \Sigma \text{ cationes} = \pm (0,165 + 0,0155 \Sigma \text{ aniones})$. A su vez, CIDIAT (1994) indica que el balance iónico se considera satisfactorio cuando el porcentaje de error calculado como dos veces la diferencia absoluta de cationes y aniones, dividida por la suma de los cationes y aniones, todos expresados en meq/l y multiplicados por 100 es menor o igual al 10%. La comprobación relacionada con la conductividad eléctrica indica que ésta expresada en micromhos/cm a 25° C, multiplicada por un factor, comúnmente en el rango entre 0,55 y 0,70, es igual al total de sólidos disueltos (mg/l).

Interpretación de los datos

Un paso importante, muchas veces omitido, es la interpretación de los datos. Esto incluye la comparación de los datos de calidad del agua entre estaciones, análisis de las tendencias de la calidad del agua, desarrollo de relaciones causa-efecto entre datos de calidad del agua y datos del ambiente (geología, hidrología, uso del suelo, fuentes contaminantes), y adecuación de la calidad del agua a varios usos, etc (Meybeck, Kimstach y Helmer, 1992).

La consideración de los cambios en el caudal, con relación a los cambios en las concentraciones de algunas sustancias son importantes para identificar las principales fuentes de contaminación. La disminución de la concentración con el caudal implica incremento en la dilución de una sustancia introducida con una tasa constante (ej: principales cationes), esto es característico de fuentes puntuales como descargas municipales e industrias. Si se produce un incremento en la concentración a medida que aumenta el caudal, esto puede estar relacionado con el arrastre de constituyentes del suelo (ej: materia orgánica, nitrógeno). Si el crecimiento de la concentración es exponencial, se debe a erosión y remoción del lecho del río (ej: Total de sólidos en suspensión, fósforo, metales y compuestos orgánicos como pesticidas y herbicidas) (Meybeck et al., 1992).

Las principales plantas de tratamiento liberan un flujo constante de contaminantes a lo largo del año que es diluido por las aguas del río, entonces la frecuencia de muestreo semanal podría ser cambiada a una frecuencia bimensual o mensual, si se toman en cuenta estas relaciones. La relación concentración/caudal es importante por su capacidad de diagnóstico para la determinación de las principales fuentes de contaminación. En general, cuando se incrementa el caudal los efluentes de las fuentes puntuales son diluidos y por el contrario los que provienen de las difusas son incrementados. Sin embargo, un contaminante es usualmente derivado de diversas fuentes, lo que origina una situación más compleja, si bien podrían determinarse las fuentes predominantes en cada período de tiempo (Meybeck et al., 1992).

Las interpretaciones de datos en una evaluación de calidad del agua deben siempre referirse a los objetivos, proponer mejoras e incluir simplificaciones en las actividades de

seguimiento, también determinar las necesidades de investigaciones más amplias y presentar guías para la planeación ambiental y el desarrollo económico. Estos hallazgos deberían ser discutidos con las autoridades correspondientes a nivel local, regional o nacional (Chapman y Kimstach, 1992).

La calidad del agua se va deteriorando con el uso del recurso. Este deterioro se acelera durante procesos de industrialización de la región. Si las autoridades toman medidas pero éstas son insuficientes, el incremento del deterioro es bajo, pero si la actividad continúa creciendo o si la capacidad de asimilación del ambiente es limitada la contaminación crece rápidamente y pueden ocurrir daños severos e irreversibles. Si se toma la acción adecuada, la contaminación llega al máximo después de un tiempo, el cual depende de la efectividad del control, el tiempo de permanencia y la interacción del contaminante con otros sumideros y reservorios. Finalmente puede alcanzarse un nivel ambiental tolerable, aunque no equivalente al nivel prístino (Meybeck y Helmer, 1992).

El área de estudio

Descripción

El área de estudio se ubica en la provincia de Mendoza, Argentina, comprendida en la región árida del país, su precipitación es de 250 mm anuales y la temperatura media de los meses más fríos y más cálidos de 6 °C y 25 °C, respectivamente (Chambouleyron, 1993).

El río Tunuyán nace en los Andes y su cuenca puede dividirse en dos subcuencas: la alta que riega 17.000 ha y la baja separada de la anterior por el embalse El Carrizal, que tiene una superficie de 85.000 ha. En ésta se ubica el área de estudio, seleccionada debido a que recibe los desagües de la cuenca alta, lo que posibilita evaluar los impactos de la contaminación en el área y los que se producen aguas abajo de una zona agrícola (Chambouleyron, 1993).

Los suelos de la cuenca son profundos y fértiles, de gran homogeneidad y la textura predominante es la franco arenosa. El principal cultivo es la vid, también se cultivan frutales (durazneros, ciruelos y manzanos), hortalizas y en menor escala alfalfa, olivo y forestales (Chambouleyron, 1993).

La infraestructura de riego está constituida por un dique de embalse (El Carrizal), que con una capacidad útil de 386 hm³ regula el caudal del río. Aguas abajo se encuentra el dique derivador Tiburcio Benegas con una capacidad de derivación máxima de 65 m³/seg. De éste dique nacen sobre la margen derecha el canal Reducción con una capacidad de conducción máxima de 15 m³/seg y sobre la margen opuesta el canal Matriz Margen Izquierda con 50 m³/seg de capacidad de conducción máxima (Chambouleyron, 1993).

La red de riego se compone de canales primarios, secundarios y terciarios que superan los 1.000 km. de recorrido. Aproximadamente 50 km de canales están impermeabilizados, correspondiendo generalmente a canales primarios. La red de canales secundarios y terciarios hasta nivel de finca es de tierra. El funcionamiento de los canales primarios y secundarios es con caudal continuo y es cambiado una vez cada 15 o 20 días, dependiendo de las necesidades de riego de los cultivos, el volumen de agua almacenada en el dique y el pronóstico de escurrimiento para ese ciclo agrícola. La red de canales terciarios funciona con turnado, existiendo variaciones de manejo entre los distintos canales (turnos de 7 a 10 días, aproximadamente) (Chambouleyron, 1993).

Casi la totalidad de la superficie se riega con métodos de riego por gravedad (surcos y melgas sin pendiente y sin desagüe al pie). La eficiencia zonal de riego alcanza valores de 39% (eficiencia externa o de conducción 63% y eficiencia interna o a nivel de predio 62%) (Chambouleyron et al., 1981 citado por Chambouleyron, 1993). Estos valores de eficiencia pueden ser mayores, si se toma en cuenta el reúso a nivel predial y la reutilización de agua de los desagües a nivel de toda el área de riego.

El área cuenta con una amplia red de colectores de drenaje (85,5 km) que evacúan las aguas superficiales, los excedentes de aguas superficiales y también las aguas contaminadas de algunos establecimientos industriales (Chambouleyron, 1993).

El problema de la contaminación

La estructura actual de los oasis de Mendoza presenta desde el punto de vista del uso del agua, según Chambouleyron (1989) las siguientes características:

1. Alta densidad de población. Gran parte de la tierra que estaba dedicada a la agricultura se ha convertido en zona urbana, debido al gran crecimiento de la población, cuya densidad es de 400 hab/km².
2. Sector industrial ubicado en la parte alta de los oasis. La confluencia de la red de riego con la población y con la industria ha formado un nudo de contaminación difícil de evaluar.
3. Contacto íntimo del agua con la gente. La gran magnitud de la red de riego agrícola-urbana posibilita una gran carga de contaminantes en el sistema.

La contaminación del agua de riego en los oasis regados de Mendoza, según Kotlik (1988) puede tener tres orígenes: industrial, doméstico y agrícola. A su vez esta contaminación puede ser sólida, líquida, química-bacteriológica y térmica. La contaminación sólida está constituida por los residuos domiciliarios que son volcados diariamente a la red y luego son disueltos por el agua. La contaminación líquida está compuesta por las aguas servidas cloacales y las aguas contaminadas por el sector industrial que vuelcan a la red. Parte de estas aguas servidas son reusadas para riego sin ser tratadas previamente lo que determina la contaminación no sólo del agua, sino también del suelo y los cultivos. La contaminación química está determinada por los residuos químicos que son volcados a la red. Es común en

Mendoza la presencia de soda cáustica proveniente de las fábricas de procesamiento de aceitunas o de las bodegas que poseen plantas de fraccionamiento. También las curtiembres vuelcan a la red los químicos que utilizan y los yacimientos petrolíferos las mezclas de aceites y agua fósil. Otro ejemplo de contaminación química es la producida por los pesticidas utilizados para lograr la sanidad de los cultivos.

Marco legal

La Ley General de Aguas y su Ley complementaria, sancionadas en 1884 y 1888 respectivamente, son de aplicación en el territorio de la Provincia de Mendoza y consideraban ya en el siglo pasado la necesidad de controlar la contaminación de las aguas según lo indica el art. 131: "Cuando un establecimiento industrial comunique a las aguas sustancias o propiedades nocivas a la salubridad o a la vegetación, el Superintendente de aguas dispondrá que se haga el reconocimiento facultativo y si resultase cierto el perjuicio se mandará suspender el establecimiento industrial hasta que sus dueños adopten el oportuno remedio".

A su vez, los artículos 106 y 107 dan a los pobladores de las áreas de riego la posibilidad de utilizar el agua de riego que circula por ríos y canales en usos domésticos. En la actualidad el agua de riego no es utilizada para beber, pero sí para otros usos domiciliarios, lo cual indica que es necesario evaluar el agua de la red de riego no sólo según los parámetros recomendados para su uso específico sino en forma más amplia considerando su uso integral. Artículo 106: "Mientras las aguas corran por cauces naturales y públicos todos podrán usar de ella para beber, lavar la ropa, vasijas y cualesquiera otros objetos, bañarse, abreviar o bañar animales, con sujeción a los reglamentos de policía y ordenanzas municipales". Artículo 107: "En las aguas que, apartadas artificialmente de sus cauces naturales o públicos, discurren por canales, acequias o acueductos descubiertos,... todos podrán extraer o conducir en vasijas la que necesitan para usos domésticos, o fabriles, o para riego de plantas,..."

Respecto a las normas de calidad del agua, no existe un único digesto sobre la materia a nivel provincial, por lo cual el Ente Provincial de Aguas y Saneamiento (EPAS) convocó entre el 21 y el 23 de febrero de 1995 al Primer Taller Provincial sobre Normas de Calidad del Agua para recibir los aportes de todas las instituciones nacionales y provinciales que tienen relación con el recurso hídrico en la Provincia de Mendoza. El resultado de dicho taller es la definición de límites permitidos para los distintos parámetros de acuerdo a cada uso, según lo recomendado por las instituciones y profesionales participantes.

El control de los efluentes industriales es ejercido por el Departamento General de Irrigación (DGI) cuando éstos son volcados a cursos de agua o canales de riego y desagüe y por Obras Sanitarias Mendoza (OSM) cuando son volcados a los conductos que llevan a las plantas de tratamiento de aguas cloacales. Por lo tanto en el primer caso es de aplicación la Resolución 634 del DGI y en el segundo la Resolución 19/90 de OSM.

La Res. 634 del DGI crea el Registro Unico de Establecimientos (RUE) en el cual deben inscribirse todos los industriales que aporten líquidos residuales a los cauces y establece

la obligatoriedad de contar con un "permiso de vuelco" donde se fijan las condiciones permisibles de los efluentes en su caudal máximo, período de utilización de los cauces y caracteres químicos, organolépticos y microbiológicos.

Obras Sanitarias Mendoza, a través de su Resolución Nro 19/90, implementó las "Normas de procedimiento para el control de efluentes industriales" y creó el "Registro Unico de Establecimientos que vuelcan Efluentes a Colectores" (RUEVEC). Este registro establece las condiciones de caudal, frecuencia y periodicidad de los volcamientos de efluentes permitidos y la Resolución mencionada indica las características aceptables de los efluentes.

Marco institucional

Existen en Mendoza diferentes instituciones vinculadas con el manejo de los recursos hídricos, se mencionan a continuación aquellas con mayor injerencia en el tema de este estudio.

El Instituto Nacional de Ciencia y Técnica Hídricas (INCYTH) es un organismo descentralizado que realiza actividades científicas y técnicas tendientes al desarrollo y preservación de los recursos hídricos de Argentina. Está organizado en áreas especializadas y centros regionales, de los cuales tienen sede en Mendoza el Centro Regional Andino (CRA) y el Centro de Economía, Legislación y Administración del Agua (CELA) (INCYTH, s/f).

El Departamento General de Irrigación (DGI) es un organismo administrativo autárquico que está a cargo de todos los asuntos relativos a irrigación. Es gobernado por un Superintendente y un Consejo de 5 regantes, designados por el Poder Ejecutivo Provincial con acuerdo del Senado. Jerárquicamente dependientes del Superintendente están los Subdelegados, uno por cada río provincial y dos en el caso del río Tunuyán debido a la división en las subcuencas superior e inferior. A su vez cada Subdelegación tiene una Junta Honoraria de Regantes de carácter consultivo. Existe, por lo tanto, una descentralización territorial a base de cuencas y no de subdivisiones políticas lo que contribuye a un manejo más racional de las aguas. La administración de cada canal es realizada por los regantes a través de un Inspector, electo cada 4 años por los usuarios inscriptos en el padrón del respectivo cauce. Existe, entonces, una descentralización administrativa de doble grado, pues el DGI es autónomo del gobierno provincial y las Inspecciones de cauce (organismos de usuarios) son autárquicas respecto del DGI (Chambouleyron, 1993).

En el marco de la reforma del estado provincial por la Ley 6072 se ha dispuesto el reordenamiento institucional de la prestación del servicio público de agua potable y desagües cloacales en el ámbito de la provincia. El objetivo es la separación orgánica entre las funciones de prestación del servicio propiamente dicho y las funciones de policía necesarias para el efectivo control y regulación del servicio. Mediante Ley 6044, sancionada en 1993, se crea el Ente Provincial de Agua y Saneamiento (EPAS) cuyas facultades son: controlar el régimen de explotación de los servicios; supervisar el cumplimiento de las metas comprometidas; controlar la ejecución de los planes de mejoras

y operación del servicio; resolver en última instancia los conflictos que surjan entre usuarios, operadores del servicio y terceros y organizar y aplicar el régimen de audiencias públicas previsto en la Ley 6044.

La reorganización de la prestación del servicio se está realizando mediante concesión de servicio público por un plazo de 50 años en favor de una empresa con participación estatal mayoritaria. El ámbito de concesión comprende las áreas actualmente servidas por Obras Sanitarias Mendoza Sociedad del Estado (OSM SE) así como las áreas de expansión que en el futuro puedan incorporarse. Al efecto de instrumentar el contrato de concesión se ha creado la empresa Obras Sanitarias Mendoza Sociedad Anónima (OSM SA), sujeta al régimen de la Ley de sociedades comerciales Nro. 19550. El objeto de la sociedad es la prestación de servicio de agua potable y desagües cloacales que anteriormente se encontraban a cargo de OSM SE. El objeto comprende la producción, distribución y comercialización de agua para el abastecimiento de la población y los desagües cloacales e industriales (Vélez, 1993).

El Ministerio de Obras Públicas y Medio Ambiente posee una Dirección de Saneamiento y Control Ambiental que se ocupa de la contaminación de los recursos hídricos de la Provincia de Mendoza.

Fuentes de contaminación

Los orígenes de la contaminación en Mendoza según se mencionó más arriba son tres: industrial, doméstico y agrícola. Los dos primeros son los más estudiados, si bien es reconocido que los residuos de fertilizantes y plaguicidas que se utilizan en el cultivo agrícola, especialmente en horticultura son un importante aporte contaminante para los recursos hídricos de los oasis de la Provincia (Chambouleyron, Morábito y Bustos, 1995).

Efluentes industriales

La mayoría de las industrias de la Provincia de Mendoza y en particular de la Subdelegación del río Tunuyán inferior son agroindustrias (bodegas, industrias conserveras, secaderos, aceiteras y otras). Dentro de las bodegas predominan las de elaboración sobre las de fraccionamiento. En éstas el lavado de botellas utiliza detergentes (boro y soda cáustica) y aporta sólidos disueltos totales y salinidad debido al proceso de fraccionamiento (Kotlik, 1988).

El mayor aporte contaminante lo producen las destilerías, su actividad es continua y producen gran volumen de efluentes, en este rubro está incluida la elaboración de productos químicos derivados de la vinicultura. Las bodegas tienen bajo aporte contaminante, en general son pequeñas (poco personal ocupado), su actividad es temporaria y las descargas son

intermitentes. Las conserveras generan un aporte importante, son industrias estacionarias pero con mayor período que las bodegas y mayor volumen de efluentes (Zoia y Fasciolo, 1991).

La época de vuelco predominante va desde febrero a abril debido a las bodegas, las industrias conserveras y secaderos vuelcan de enero a abril (durazno en enero y febrero; tomate en marzo y abril; luego pimiento dulce; en setiembre y octubre cerezas y en diciembre damascos), las aceiteras en su época de elaboración: abril, mayo y junio y las bodegas fraccionadoras vuelcan todo el año (Kotlik, 1988; OSN, 1973).

Las características de los efluentes crudos por rama de industria son (Fasciolo y Bertranou, s/f):

- Bodegas en época de elaboración:
 - alta CEA (afecta al riego de frutales y vid)
 - boro (peligroso para cultivos sensibles)
 - cloruros en niveles peligrosos
 - metales tóxicos como manganeso y cadmio
- Destilerías de alcohol etílico:
 - alta CEA
 - concentración de cloruros (puede afectar al riego de frutales)
 - boro (debajo del nivel de peligrosidad)
 - amonio (puede ser bueno como fertilizante)
- Elaboración de frutas, conservas y hortalizas (durazno, tomate, pimiento):
 - alta CEA
 - concentración de cloruros (puede afectar a plantas sensibles como frutales)
 - abundante contenido de materia orgánica como nitrógeno
- Elaboración de aceite de oliva y aceitunas:
 - altísima CEA (efluente no apto para riego)
 - alta concentración de sodio (efluente no apto para riego)

Los desagües líquidos de las bodegas son aguas ligeramente ácidas, cuya acidez proviene del ácido acético (volátil) y del ácido tartárico (no volátil), llevan colorantes del vino y en menor cantidad bentonitas, fibras de amianto, tierra de diatomeas, un poco de materia proteica y abundante materia orgánica. Un problema lo constituyen las vinazas por su alto potencial de putrefacción, debido al alto contenido de sales y materia orgánica (OSN, 1973). Según Fasciolo (1991.a) los efluentes de bodegas presentan valores medios de DBO de 1100 mg/l y pH 6,6.

Los efluentes provenientes de la industria conservera incorporan sólidos en suspensión, produciendo fermentación con gases, floculación y aglomeración de los sólidos que suben a la superficie y forman espuma dificultando la autodepuración del cuerpo de agua. Producen generalmente una descarga ácida que reduce el pH del cuerpo de agua receptor y puede incrementar la temperatura reduciendo la concentración de oxígeno disuelto. Los colectores pueden sufrir acumulación de sedimentos y obstrucción. La descomposición de los

mismos crea condiciones sépticas con producción de gases principalmente ácido sulfhídrico (OSN, 1973). Datos presentados por Fasciolo (1991.a) indican una DBO de 900 mg/l, pH 6,3 y CEA 2,1 mmhos para los efluentes provenientes de la elaboración de conservas de tomate y pimienta; para efluentes de la industria de conservas de durazno, las características son: DBO 1300 mg/l, pH 6,5 y CE igual a 3,4 mmhos y para la elaboración de conservas de pera, los valores medios son: DBO 2.900 mg/l, pH 8 y CE 1,9 mmhos.

Los desagües provenientes de la industria del aceite de oliva se caracterizan por su contenido graso y su turbidez que favorece el desarrollo de la flora anaeróbica. El aceite puede impermeabilizar los cauces, obstruir los tamices, dificultar la sedimentación y la acción de bombas. Las aguas residuales son tratadas, en general, con decantadores provistos de interceptores de grasa (OSN, 1973). Los valores medios de sus efluentes son: DBO 16000 mg/l, pH 5,2 y CE 9 mmhos (Fasciolo, 1991.a).

La elaboración de aceitunas arroja en su primera etapa (marzo) desagües alcalinos con algo de materia orgánica, hacia abril baja la alcalinidad y se incrementa la salinidad (cloruro de sodio) y el pH puede bajar hasta 4 debido al ácido acético agregado y al láctico formado. Se usa también en su procesamiento soda cáustica. (OSN, 1973). Los efluentes provenientes de la elaboración de conservas de aceitunas tienen en promedio una DBO de 10000 mg/l, pH 10 y CE 14 mmhos (Fasciolo, 1991.a).

Los datos de efluentes de industrias que elaboran conservas y jugos de frutas y hortalizas en Mendoza, presentados por Fasciolo (1991.a), corresponden a los años 1981 y 1982, por lo tanto sólo pueden considerarse como orientativos, ya que según se menciona en el trabajo, la innovación tecnológica puede haber modificado substancialmente estos datos.

Los efluentes pueden ser volcados a terrenos aledaños y llegar como sobrantes de riego a las redes públicas o ser volcados directamente a los desagües. Los cauces por su escasa longitud no permiten el proceso de autodepuración y tampoco producen diluciones importantes, por lo tanto son conductores del problema de contaminación (Kotlik, 1988).

Una característica destacable de la contaminación hídrica en áreas de riego es la presencia de un caudal variable en los canales, debido a que está sujeto a los turnos de riego y a que los efluentes industriales tampoco aportan un caudal constante, por lo tanto la contaminación, principalmente ocasionada por materia orgánica, es cambiante en el espacio y en el tiempo (Fasciolo, 1991.a).

Efluentes domésticos

La disponibilidad de servicios cloacales en la Provincia de Mendoza alcanza al 30 % de la población según datos de OSM, el resto de los habitantes utilizan como sistema de disposición principalmente pozos absorbentes y también letrinas. Estas formas de evacuación podrán generar problemas de contaminación de diversa gravedad a los estratos subterráneos en función a la profundidad y características de los acuíferos. Respecto al destino de los

líquidos cloacales en su mayoría son absorbidos por la red de riego en forma directa o indirecta (Kotlik, 1988).

Los efluentes domésticos contienen alto contenido de materia orgánica y de nitrógeno y fósforo, esto los hace deseables para la agricultura por su capacidad recuperadora de suelos pero indeseables por la posibilidad de producir eutroficación y efectos nocivos sobre la salud de los trabajadores rurales, los consumidores y la población en general. Estos efluentes pueden tener alto contenido de detergentes que causan espumas e impiden el intercambio de oxígeno. Pero el principal problema de contaminación que pueden originar se debe a la presencia de organismos patógenos (Fasciolo, 1991.b).

El aprovechamiento de las aguas residuales domésticas para riego se ha dado bajo dos formas: a) uso directo mediante toma y distribución no autorizada de las aguas residuales domésticas y b) uso indirecto mediante la descarga previa de las aguas residuales, en los ríos o en los cauces de riego (Fasciolo, 1993).

Usos del agua del área de riego

El uso del agua del río Tunuyán inferior y su red de canales es obviamente el riego de cultivos agrícolas, pero cabe mencionar lo indicado por Fasciolo (1991) respecto a que estas aguas son frecuentemente usadas por los pobladores rurales para uso doméstico. Indicándose en algunos sectores la utilización para limpieza de enseres domésticos como ropa y utensilios y para el aseo personal (Chambouleyron et al., 1996).

CAPITULO III

METODOLOGIA DEL TRABAJO REALIZADO

Se presenta en este capítulo una descripción de las actividades realizadas para la elaboración de este trabajo, que pueden agruparse en revisión bibliográfica, entrevistas personales, visitas a campo, desarrollo de la propuesta y aplicación de la misma a un determinado estudio de caso.

Revisión bibliográfica

Consistió en la consulta de material existente en las bibliotecas del CIDIAT, de la Universidad de los Andes, del INCYTH y otras de propiedad privada, sobre calidad y contaminación del agua, métodos de análisis y evaluación de aguas, fuentes de contaminación, así como sobre la situación de las áreas de riego de Mendoza y el estado de contaminación de sus aguas.

Se realizó también una recopilación de información de importancia para la identificación y caracterización de las fuentes de contaminación del área de estudio referente a los últimos censos, el de población para conocer la contaminación por efluentes domésticos; el económico, para conocer las industrias ubicadas en el área y los censos agropecuario y frutícola para conocer la contaminación proveniente de las actividades agrícolas.

Entrevistas personales

Se realizaron consultas a expertos en calidad del agua y su metodología de evaluación del CIDIAT y la Universidad de Luján (Argentina), con el fin de desarrollar el flujograma e identificar los puntos relevantes de los diferentes pasos.

Con respecto a la aplicación al estudio de caso, se consultaron diferentes profesionales de instituciones de Mendoza: Instituto Nacional de Ciencia y Técnica Hídricas (INCYTH) de sus dos Centros CRA y CELA, Departamento General de Irrigación (DGI), Universidad Nacional de Cuyo, Obras Sanitarias Mendoza (OSM), Ministerio de Obras Públicas y Medio Ambiente de Mendoza, Ente Provincial de Agua y Saneamiento

(EPAS), Dirección de Estadística e Investigación Económica y Dirección de Desarrollo Agrícola dependientes del Ministerio de Economía de Mendoza e Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Sus aportes contribuyeron al conocimiento sobre: los diferentes aspectos del estudio precursor de este trabajo; la toma de muestras y la realización de los análisis de laboratorio; las fuentes de contaminación urbana, industrial y agrícola; las características de la red de riego; el desarrollo agrícola del área; las normas sobre calidad de aguas y la gestión del recurso.

Visitas a campo

Se realizaron viajes al área de riego del Tunuyán inferior para ver el desarrollo agrícola actual del área y el estado de sus principales canales de riego y desagüe. También para conocer la planta de tratamiento de la ciudad de Junín, las zonas de vuelco de efluentes cloacales de las ciudades de San Martín y Rivadavia y la ubicación de industrias importantes de la zona.

Desarrollo de la metodología propuesta

El flujograma para la evaluación de la contaminación del agua de riego se elaboró considerando las recomendaciones de la literatura consultada, las entrevistas a los especialistas en el tema y la opinión de los asesores. La posterior aplicación al estudio de caso permitió reconsiderar sus pasos, así como ampliar y reordenar algunas de las actividades que integran cada uno de ellos, hasta obtener la versión propuesta.

Aplicación a un estudio de caso

La aplicación del flujograma al área de riego de la cuenca inferior del río Tunuyán consistió en ordenar los datos obtenidos en el área de estudio a partir de la revisión bibliográfica, las entrevistas personales y las visitas a campo, para obtener los primeros pasos del flujograma(1 a 4). Luego se procedió al análisis de la información para la elaboración de los pasos 5 a 8 y a su interpretación (paso 9), para los cuales se contó con el apoyo de mapas que permitieron comprender las características de la red de riego y ubicar los sitios de muestreo seleccionados y las fuentes de contaminación. La preparación de gráficos en función del tiempo y la longitud de los canales y colectores facilitó la determinación de las variabilidades temporal y espacial. Finalmente se elaboraron las conclusiones y recomendaciones, las cuales forman parte del paso 10.

CAPITULO IV

RESULTADOS

El análisis de la información ha conducido a proponer una metodología para evaluar la contaminación de aguas superficiales en áreas de riego en las que se realizan actividades agrícolas, industriales y/o urbanas. La metodología se presenta como un flujograma, cuyos pasos a seguir son:

1. Determinar los objetivos del programa de evaluación de contaminación del agua superficial del área de riego.
2. Identificar los usos del agua superficial en estudio.
3. Identificar las fuentes de contaminación del agua del área y sus características: ubicación de puntos de descarga, estacionalidad de los vertimientos, tipos de contaminantes, etc.
4. Seleccionar el medio apropiado a muestrear: agua, sedimentos, organismos vivientes.
5. Seleccionar las variables a incluir en la evaluación de la contaminación del agua considerando los usos del agua, las fuentes de contaminación y la legislación de aplicación en el área.
6. Seleccionar los puntos y la frecuencia de muestreo.
7. Realizar la toma de muestras a campo, la medición de las variables hidrológicas y los análisis de laboratorio.
8. Determinar el estado y nivel de contaminación de las aguas a través de la comparación de los datos provistos por los análisis de laboratorio con las normas de aplicación en el área del proyecto y si fuera necesario con otras normativas o directrices.
9. Interpretar 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.
10. Elaborar un informe claro y conciso que permita a las autoridades pertinentes la toma de decisiones tendientes a mejorar la calidad del agua.

Se presenta a continuación el flujograma propuesto, el cual consiste en una serie de pasos que deben seguirse en forma secuencial para evaluar la contaminación del agua de un área de riego.

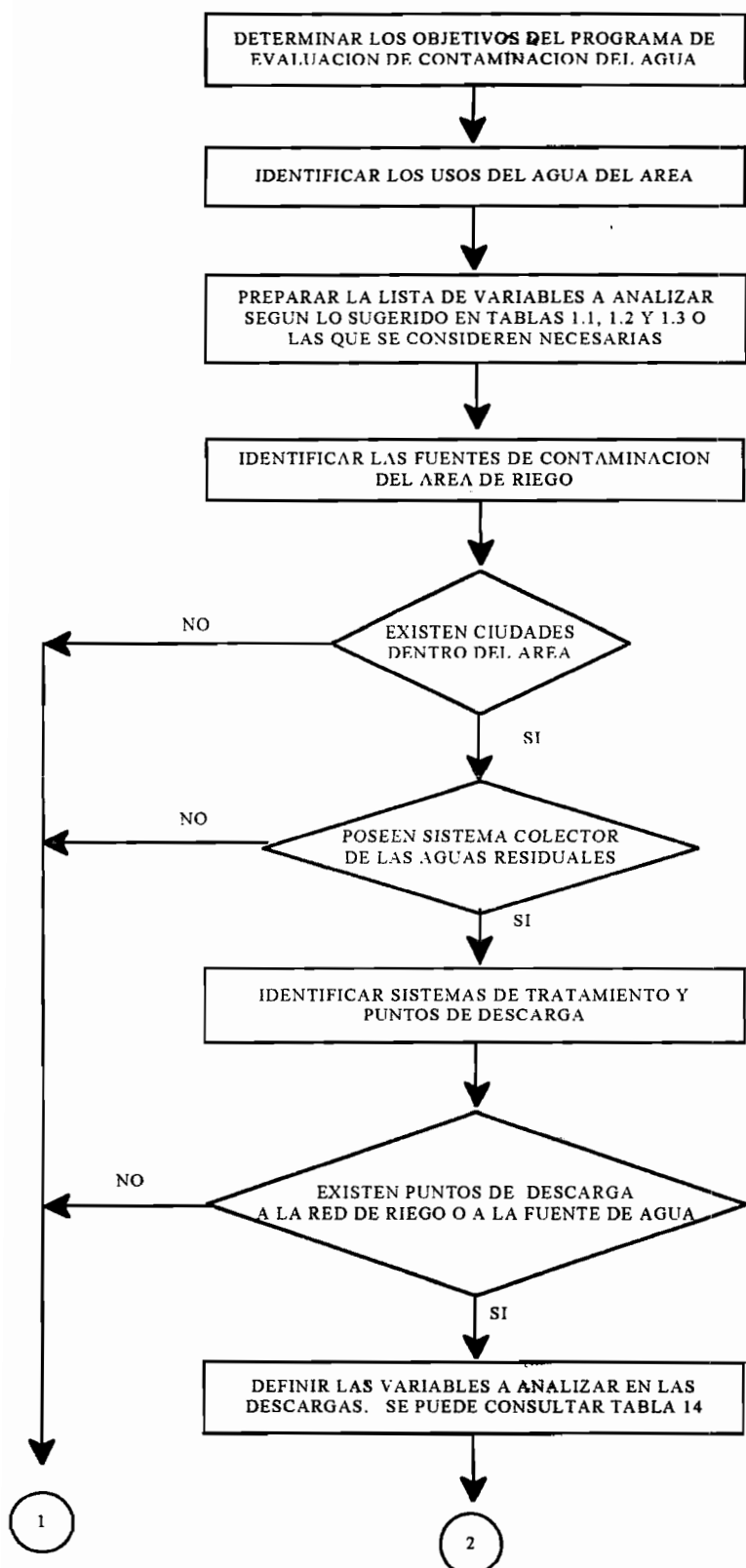
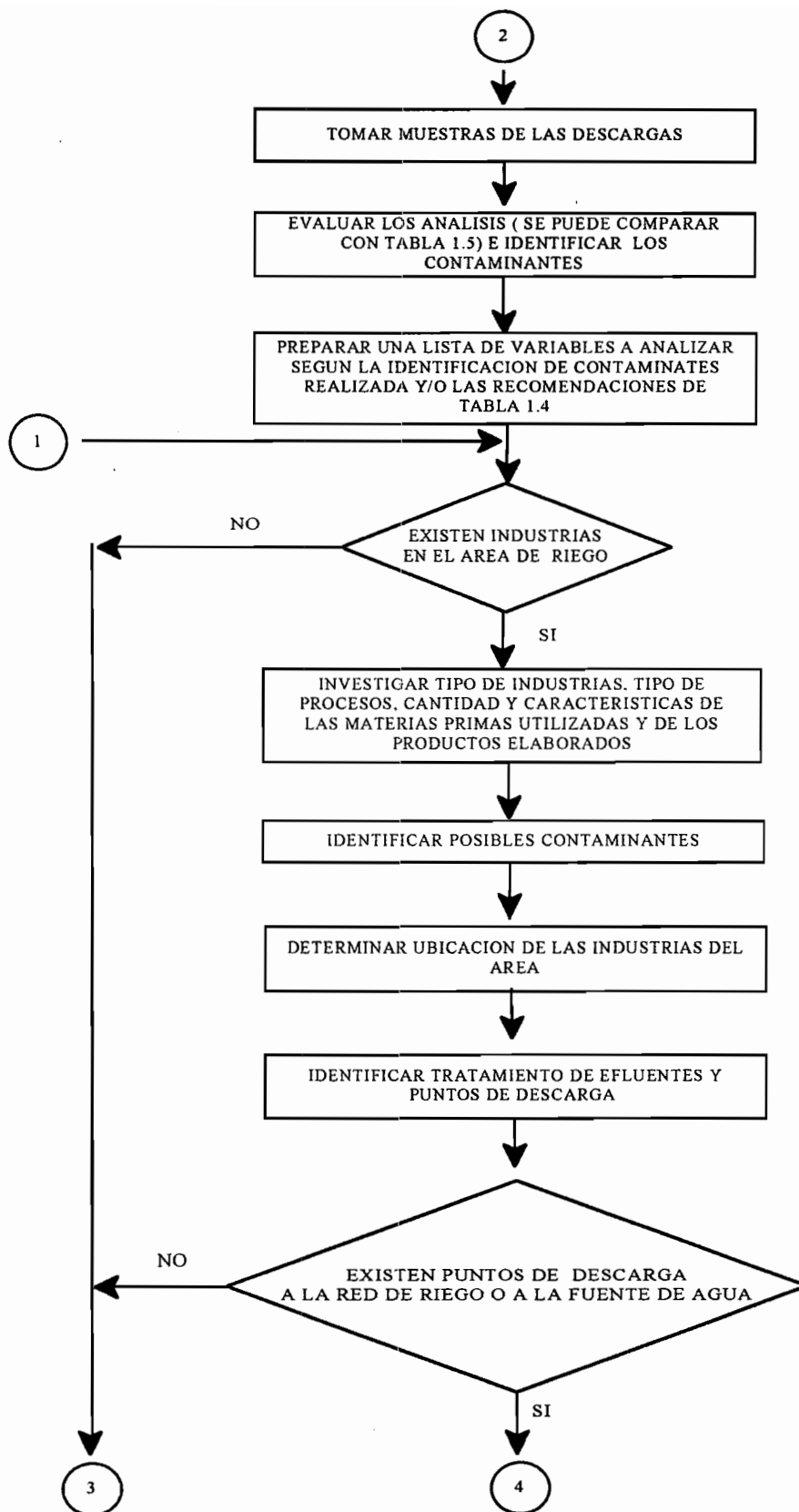
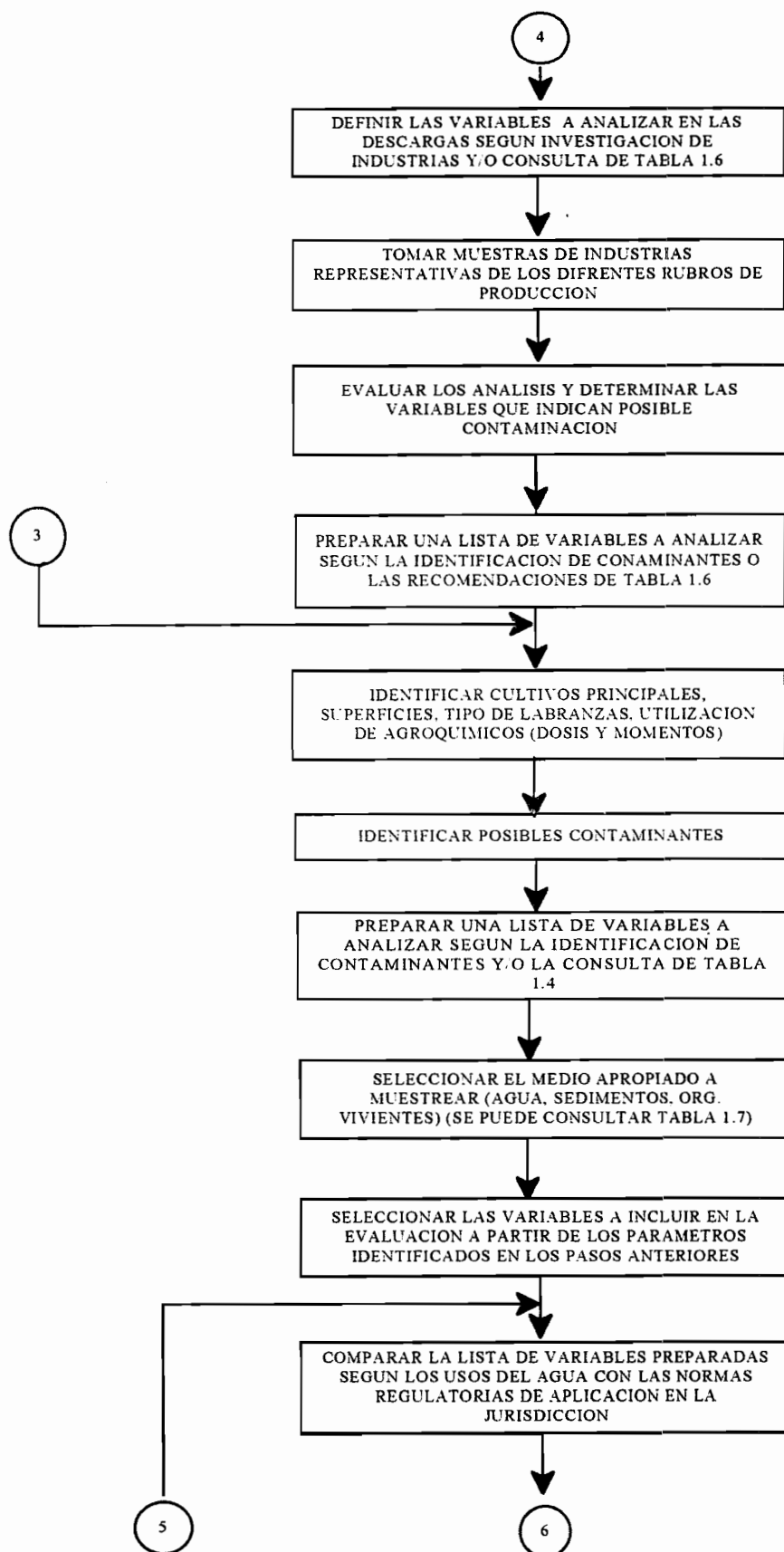
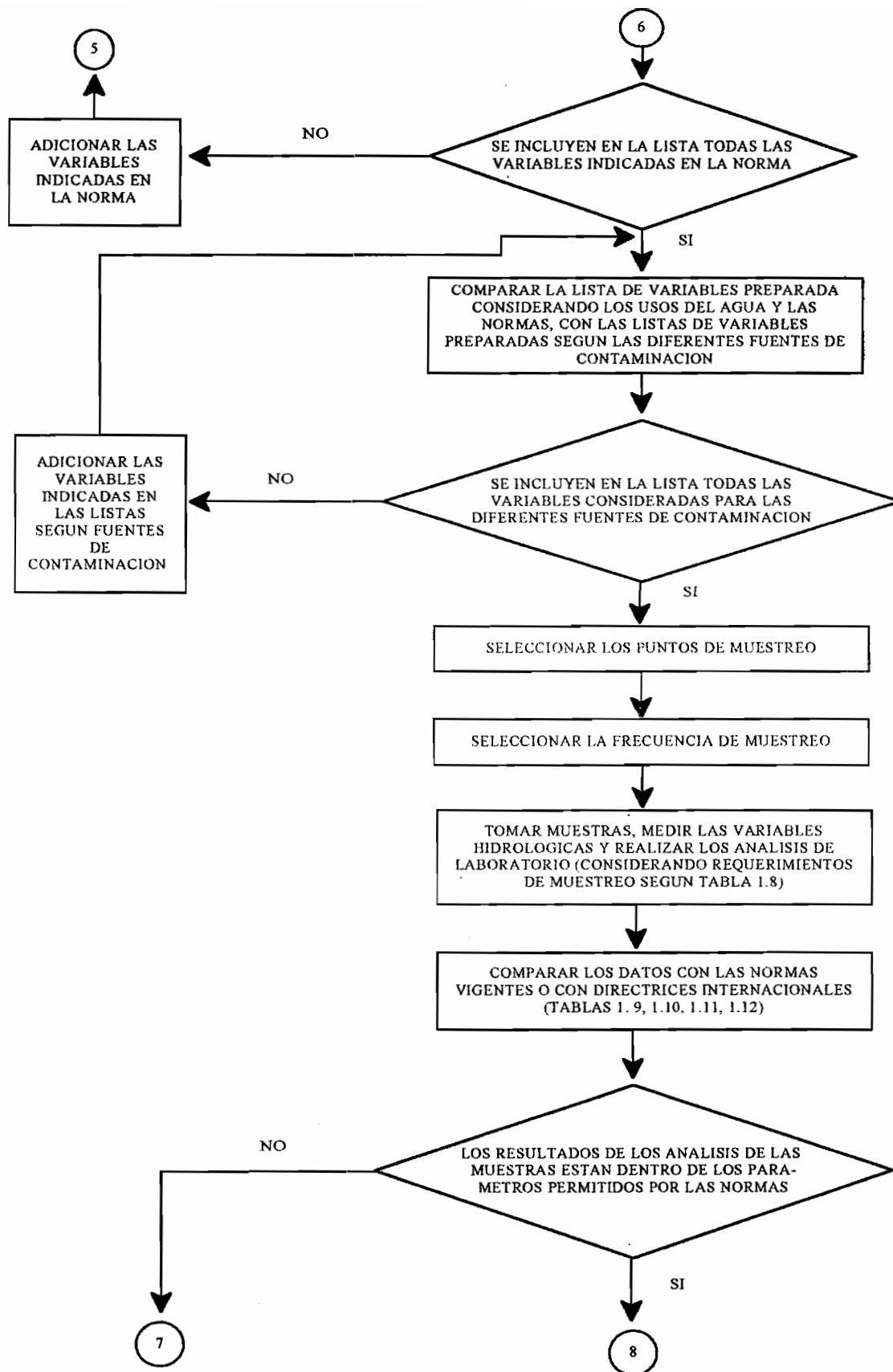
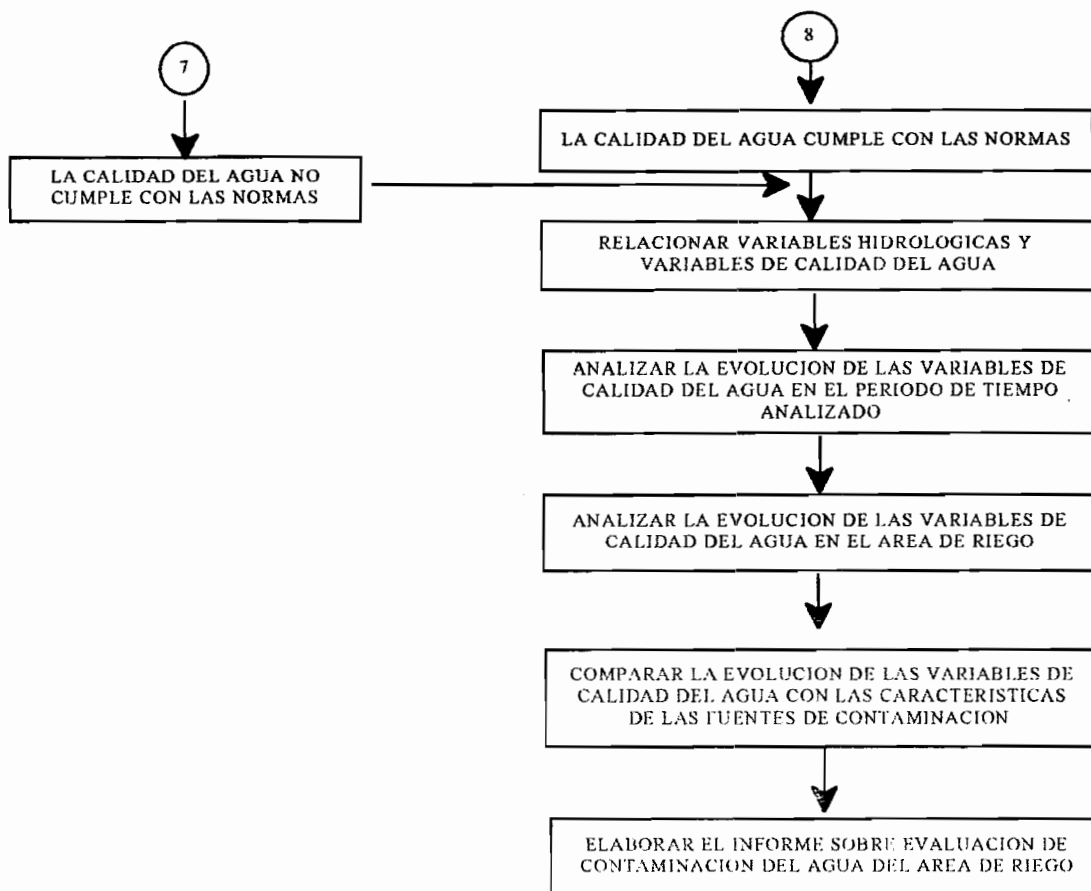


Figura 3. Flujo grama propuesto para la evaluación de la contaminación del agua superficial de un área de riego









CAPITULO V

DISCUSION DE RESULTADOS

Análisis del flujograma

A continuación se analizan los pasos del flujograma propuesto para evaluar la contaminación del agua superficial de un área de riego.

Determinación de los objetivos del programa de evaluación de contaminación del agua superficial del área de riego. Paso 1

Los objetivos del programa serán determinados por la institución que desee llevar adelante el mismo, fundamentalmente aquellas con responsabilidad en el desarrollo (gestión, administración, manejo) o investigación de los recursos hídricos. Los objetivos responderán, en general, a la necesidad de conocimiento de las características y evolución del recurso, con el fin de elaborar políticas hídricas, preparar o reformar las normas para el control de la calidad del agua, cumplir o exigir el cumplimiento de la normativa vigente y proponer pautas para una mejor gestión, entre otras posibilidades.

La definición de los objetivos y, en general, la preparación del programa de evaluación a llevar a cabo puede realizarse utilizando el marco lógico (BID, 1994), herramienta que facilita el diseño y ejecución de proyectos. El marco lógico se presenta como una matriz de cuatro por cuatro, cuyas columnas contienen: resumen narrativo de los objetivos, indicadores (resultados específicos a alcanzar), medios de verificación del logro de los objetivos propuestos, y supuestos. Las filas contienen el fin (contribución del programa a la solución del problema), el propósito (logro a alcanzar al término de la ejecución del programa), los componentes (cada una de las partes del programa) y las actividades (acciones necesarias para completar cada programa). La utilización de esta herramienta facilita el diseño y ejecución del programa ya que contribuye a la determinación de objetivos, componentes y actividades, define resultados a alcanzar y provee indicadores para verificar el cumplimiento de los diferentes pasos durante la ejecución del programa.

Identificación de los usos del agua superficial en estudio. Paso 2

La recopilación de información del área y las consultas con los organismos locales que gestionan los recursos hídricos permitirán conocer los usos del agua (agua potable, consumo animal, industrial, recreativo, riego, pesquería, vida acuática, etc.). Es conveniente también, si fuera posible, la realización de ciertas encuestas tales como la utilización de agua

por parte de las industrias para definir los principales destinos (calentamiento, enfriamiento, consumo, etc.), identificando puntos de toma, volúmenes utilizados, momentos o periodicidad de su captación; la reutilización de aguas de desagües para riego de cultivos; el uso del agua por los pobladores locales para conocer aquellos que no están registrados, como el doméstico (limpieza de ropa y utensilios del hogar, aseo personal, etc.), pero cuya consideración es importante. La identificación de los usos será de utilidad para el diseño del programa, principalmente en la determinación de las variables a analizar, puntos y frecuencias de muestreo.

A partir de la identificación de los usos del agua se puede definir una lista preliminar de variables a analizar, considerando las Tablas 1.1 y 1.2 del apéndice 1, las cuales presentan un conjunto de indicadores para la realización de evaluaciones de calidad del agua en relación a usos no industriales (vida acuática y pesquerías, agua potable, recreación y salud, riego y agua para ganado) e industriales (calentamiento, enfriamiento, generación de energía, hierro y acero, pulpa y papel, petróleo y procesamiento de alimentos). También es de utilidad la Tabla 1.3, la cual presenta los análisis de laboratorio necesarios para evaluar las aguas de riego adoptada por FAO (1987).

Identificación de las fuentes de contaminación del agua del área y sus características.

Paso 3

La información sobre las fuentes de contaminación urbana, industrial y agrícola que se obtenga a través de la recopilación de estudios realizados en el área, consulta a los organismos locales y visitas a campo será necesaria para orientar las principales definiciones del programa (variables a medir, estaciones, frecuencia). Se identificarán las ciudades ubicadas en el área de riego, su localización, tamaño de población, características de su sistema colector y de tratamiento de las aguas residuales, puntos de descarga a la red de riego y drenaje o a cursos de agua y características de los efluentes vertidos, entre otros. A los efectos de considerar la importancia de esta fuente de contaminación para la calidad del agua superficial del área, la información más relevante es la determinación de puntos de descarga a la red, los datos restantes proveerán información sobre cantidad y características de la contaminación.

Se investigará la existencia de industrias en el área de riego registrando la categoría, ubicación, tipo de procesos, cantidad y características de las materias primas utilizadas y de los productos elaborados, características de los efluentes generados, métodos de tratamiento de efluentes y puntos de descarga a la red de riego o cuerpos de agua. Al igual que se mencionó para las ciudades, el último dato es el que define a las industrias como contaminantes para el agua superficial del área.

La falta de información sobre estas dos posibles fuentes puntuales de contaminación (descarga de efluentes cloacales e industriales) y sobre los posibles contaminantes que son vertidos a la red podrá ser cubierta mediante la extracción de muestras y análisis de las

variables indicadas en las Tablas 1.4 y 1.6 del apéndice 1 respectivamente. Estas tablas presentan las variables para la realización de evaluaciones de calidad del agua en relación a fuentes de contaminación no industriales (residuos municipales y cloacales, descargas urbanas, actividades agrícolas, disposición de residuos y transporte atmosférico) e industriales (procesamiento de alimentos, minería, extracción de petróleo y refinería, industria química y farmacéutica, pulpa y papel, metalúrgica, producción de maquinaria y textiles) respectivamente. Los datos resultantes de los análisis de las descargas municipales pueden compararse con la composición típica de efluentes domésticos sin tratamiento y con tratamiento primario y secundario presentada en Tabla 1.5, para orientarse sobre las características del efluente analizado. Los resultados de los análisis realizados en los efluentes contribuirán a definir las variables a incluir en las evaluaciones de la contaminación de las aguas de la red. Si no existe información, ni es posible la toma de muestras de las descargas, las Tablas 1.4 y 1.6 se pueden utilizar como orientativas para definir las variables a evaluar en el agua de la red de riego y drenaje.

La determinación de la contaminación proveniente de la actividad agrícola requerirá el conocimiento de los cultivos que se producen en la zona, superficies, tipo de labranzas y fertilizantes y pesticidas utilizados considerando dosis, momentos y forma de aplicación. Se obtendrá también a partir de esta información una lista de variables a considerar, la cual puede ser extensa si se realiza una amplia aplicación de agroquímicos en la zona. En general, deberá realizarse una selección de los mismos, ya que el costo de los análisis de este tipo de compuestos es elevado. Los criterios para realizar esta selección pueden ser la cantidad global usada en el área, considerando la concentración y frecuencia; los efectos nocivos sobre el hombre y el ambiente; y la estabilidad y movilidad del agente activo y sus metabolitos. En este caso también puede utilizarse como orientativa la Tabla 1.4 que presenta una selección de variables para evaluar la calidad del agua teniendo como fuente de contaminación la actividad agrícola.

La existencia de otras fuentes contaminantes también se debe investigar, entre ellas puede encontrarse la contaminación provocada por la utilización de las aguas para el lavado de maquinarias, envases, etc.; el vuelco de residuos domésticos a las aguas al atravesar centros urbanos; la descarga de efluentes domésticos no tratados de viviendas ubicadas junto a la red; etc.

Selección del medio apropiado a muestrear: agua, sedimentos, organismos vivos. Paso 4

La selección del medio a muestrear debe considerar los objetivos del programa y el comportamiento de los posibles contaminantes. Cada medio tiene sus propias características, entre otras: posibilidad de aplicación al cuerpo de agua, especificidad para los contaminantes en estudio, posibilidad de cuantificación de flujos y tasas, sensibilidad frente a la contaminación, posibilidad de integración de la información obtenida, nivel requerido de entrenamiento del personal, condiciones de almacenamiento de las muestras y duración del

proceso de determinación de la calidad del agua desde la operación de campo a la obtención de resultados. La Tabla 1.7 presenta las características principales de los medios utilizados para evaluar la calidad del agua y puede ser de utilidad para la selección del medio apropiado para el programa.

El presente trabajo se centrará en la utilización del agua como medio de muestreo, ya que es el medio más comúnmente utilizado, sus datos son comparables entre distintas regiones, permite la cuantificación de concentraciones y tasas, el tiempo de determinación es instantáneo a unos pocos días y el personal de campo puede ser poco a muy entrenado dependiendo del tipo de variables consideradas. Sin embargo, es más adecuado analizar el medio sólido, cuando se desea evaluar la presencia de ciertos contaminantes como metales pesados y pesticidas, los cuales se asocian a los sedimentos en los cuerpos de agua.

El análisis de los organismos vivos puede consistir, según Meybeck, Kimstach y Helmer (1992), en: análisis químicos de tejidos de organismos seleccionados; bioensayos específicos usando una o varias especies (ej: bacterias, crustáceos, algas) tales como pruebas de toxicidad y de crecimiento de algas; reconocimientos ecológicos específicos (recuento de bacterias e invertebrados) los cuales pueden llevar a la elaboración de índices bióticos; y estudios histológicos y enzimáticos en organismos seleccionados. Los análisis de organismos vivos son realizados como un complemento de los análisis físico-químicos o como un estudio independiente para evaluar el impacto de las actividades humanas sobre el ambiente acuático.

Selección de las variables a incluir en la evaluación de la contaminación del agua. Paso 5

La lista preliminar de las variables a incluir en el programa de evaluación de la contaminación del agua considerando la adecuabilidad para determinados usos, elaborada en el paso 2, se compara con las variables indicadas por las normas de aplicación en la jurisdicción, para asegurarse que se cumple con todos los requerimientos sobre calidad del agua que las autoridades locales exigen. Cabe recordar que este estudio se refiere a evaluaciones de contaminación del agua de carácter general que permiten determinar los niveles de contaminación y su variabilidad temporal y espacial para obtener una visión global del estado de contaminación de un cuerpo de agua. Las evaluaciones específicas pueden focalizarse sólo en algunos contaminantes con el fin de conocer sus niveles en situaciones de emergencia, identificación de impactos ambientales, realización de modelos de calidad de agua, etc.

Si no existieran normas de aplicación en el área de estudio, pueden considerarse los valores recomendados por organismos internacionales o reglamentaciones de países que se encuentren más avanzados en el tema. Las Tabla 1.9 y 1.10 presentan las directrices para interpretar la calidad de aguas para riego y las concentraciones máximas de oligoelementos recomendables para el riego, adoptadas por FAO (1987), respectivamente. La Tabla 1.11 presenta los requerimientos para agua potable y pesquerías y vida acuática, según OMS,

Comunidad Europea, Estados Unidos de Norteamérica y Canadá. Todas las variables indicadas en la norma o en las directrices consideradas que no estén incluidas en la lista preliminar elaborada se adicionarán.

Luego se deberá controlar la inclusión de las variables que indiquen posible contaminación urbana, industrial y/o agrícola, cuyas listas fueron preparadas en el paso 3, adicionándose las variables faltantes.

Selección de los puntos y la frecuencia de muestreo. Paso 6

La selección de los puntos de muestreo debe considerar la ubicación de los sitios de toma de agua para los usos identificados en el área y los principales puntos de descarga de las fuentes de contaminación. Para éstos es conveniente la toma de muestras antes y después de los mismos con el fin de verificar su efecto sobre la calidad del recurso. En los sistemas de riego es importante conocer la evolución espacial de la calidad del agua para lo cual deben ubicarse puntos a la entrada y salida, así como en sitios intermedios. La medición de las variables hidrológicas, también debe considerarse. Es importante hacer un relevamiento de los sitios más adecuados para la medición de ellas, con el fin de lograr la mayor coincidencia posible con los sitios de toma de muestras. En sitios donde el cuerpo de agua es muy ancho o muy profundo debe comprobarse la representatividad de la estación de muestreo, para lo cual se tomarán muestras en tres puntos en una misma sección transversal y a tres profundidades diferentes y si los resultados obtenidos son similares se probará la homogeneidad del sitio.

La frecuencia de muestreo estará determinada por los momentos y periodicidad de uso de las aguas y descarga de las fuentes de contaminación. El programa podrá incluir períodos de muestreo intensivos (con mayor frecuencia) y períodos con muestreos menos frecuentes. Otro determinante es el comportamiento de las variables, a menor variabilidad de un contaminante, la frecuencia de muestreo podrá ser menor. Esta característica sólo se podrá conocer a través de programas de evaluación anteriores o programas preliminares realizados para conocer el comportamiento de las variables.

La limitación en la cantidad de estaciones y frecuencia de muestreo estará determinada por los costos de toma y análisis de las muestras y por la capacidad operativa de la institución responsable de la ejecución del programa de evaluación.

Realización de la toma de muestras, la medición de las variables hidrológicas y los análisis de laboratorio. Paso 7

La toma de muestras a campo se realiza generalmente a través de recolección con botellas o con bombas de agua o con la implementación de sistemas automáticos de muestreo y análisis de aguas. Debe tenerse especial cuidado con la forma de acondicionamiento de las muestras y el tiempo máximo hasta su entrega al laboratorio para su análisis. Estas

especificaciones se encuentran detalladas en los manuales utilizados por los laboratorios (AOAC Official Methods of Analysis, 1995; APHA Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 1985; etc.) en los cuales se indica la forma de preparación de las muestras, el instrumental y los reactivos necesarios para la realización de los análisis y los métodos y condiciones para la realización de las determinaciones. En la Tabla 1.8 se presenta una síntesis de los requerimientos especiales de muestreo, preservación y almacenamiento para el manejo de muestras.

Al mismo tiempo que se extraen las muestras de agua se debe realizar la medición de las variables hidrológicas tales como velocidad y caudal, para lo cual existen aparatos automáticos que realizan las determinaciones en forma instantánea.

Debido a que la calidad de los datos puede ser afectada por diferentes tipos de errores, es conveniente realizar la validación de los datos entregados por el laboratorio, aun cuando se espera que éste haya realizado un control de los mismos. Los errores se originan por contaminación de las muestras, inadecuada calibración de equipos, errores en la elaboración del informe, etc., durante las operaciones de campo, la identificación y conservación de las muestras, y en las tareas de laboratorio. La validación de los datos deberá incluir, como mínimo dos comprobaciones: a) balance iónico satisfactorio, o sea que la diferencia entre la suma de cationes y la suma de aniones sea menor al 10% y b) relación sólidos totales disueltos/conductividad eléctrica, que permite obtener el valor K, se encuentre en el rango aceptado de 0,55 a 0,75, el cual puede ampliarse hasta 0,9.

Determinación del estado y nivel de contaminación de las aguas. Paso 8

Los resultados obtenidos para todas las muestras de agua se comparan con los límites permisibles indicados por las normas vigentes en el área en estudio. Si no existen normas en el área, o estuvieran incompletas o desactualizadas respecto a las pautas mundiales podrán utilizarse normas o directrices internacionales. Las Tablas 1.9, 1.10, 1.11 y 1.12 podrán tenerse en cuenta para este fin. Las Tablas 1.9 y 1.10 presentan las directrices para interpretar la calidad de las aguas para riego y las concentraciones máximas de oligoelementos recomendables para el riego, adoptadas por FAO (1987); la Tabla 1.11, las concentraciones máximas permitidas para agua potable y pesquerías y vida acuática elaboradas por OMS, Comunidad Europea, Estados Unidos de Norteamérica y Canadá; y la Tabla 1.12, las recomendaciones sobre calidad microbiológica de las aguas residuales empleadas en agricultura de la OMS (1989), citada por Fasciolo (1993). Esta comparación permitirá determinar si las aguas cumplen o no con los requerimientos establecidos para su uso y por lo tanto determinar, en función de las variables que no se ubican dentro de los rangos aceptables, el tipo y nivel de contaminación existente.