

Rev. FCA UNCuyo. Tomo XXXVIII. N° 1. Año 2006. 35-64.



PRIORIDADES DE MANEJO DEL RIESGO DE CONTAMINACIÓN DEL RECURSO HÍDRICO POR EFLUENTES ¹

PRIORITIES OF WATER POLLUTION RISK MANAGEMENT BY WASTEWATERS

Natalia J. Fernández ²

Originales

Recepción: 11/05/2005

Aceptación: 03/10/2005

RESUMEN

En el presente trabajo se propone y desarrolla una herramienta de "Gestión del riesgo de contaminación del recurso hídrico", inspirada en métodos comúnmente utilizados en las evaluaciones de impacto ambiental tales como la Matriz de importancia y la Evaluación de riesgo. Dicha herramienta se aplica en el oasis del río Tunuyán Inferior, cuya cuenca se localiza en el sector E de la Cordillera de Los Andes, provincia de Mendoza, Argentina.

El método propuesto consiste en la determinación, en cada Unidad de Manejo (UM)³ de: 1. la vulnerabilidad del territorio; 2. la peligrosidad del efluente; 3. las clases de riesgo; 4. el índice prioridad de manejo del riesgo, variables que luego se traducen cartográficamente.

Las bases de datos generadas pueden ser analizadas desde distintos enfoques y, a su vez, actualizadas a medida que se van profundizando los conocimientos acerca de los atributos que hacen a la peligrosidad del vertido (ej.: tipo de efluente, tiempo, caudal y lugar de descarga) y a la vulnerabilidad de la UM (ej.: tipo de acuífero, profundidad de nivel freático, permeabilidad del terreno, calidad del suelo, etc.).

ABSTRACT

A tool for water pollution risk management is developed in this paper. It has been inspired in methods commonly used on Environmental Impact Studies, such as Importance Matrix and Risk Evaluation. The study was focus on the lower Tunuyán River irrigated zone ("oasis"), being the catchment area located on the eastern side of the Cordillera de Los Andes, Mendoza province, Argentina.

The proposed method is based on the determination of the following data in each Management Unit (MU)⁴: 1. terrain vulnerability; 2. wastewater hazard; 3. risk categories; 4. the index priorities of risk management. For easy understanding all variables can be shown on different maps.

The data generated can be analyzed from different approaches, updated through new data and knowledge of the nature of hazard (i.e.: contaminant type, discharge period, etc.) and vulnerable elements (i.e.: aquifer type, groundwater depth, strata permeability, soil quality, etc.) in relation with water pollution processes.

¹ Reseña de la tesina de Licenciatura en Gestión Ambiental. Universidad de Congreso. Mendoza. Argentina. 2004.

² Departamento General de Irrigación - Área de Proyecto. Av. España 1776. Mendoza. Argentina. M5500DWE. nfernandez@irrigacion.gov.ar

³ A nivel general, son las áreas bajo riego donde se hace el aprovechamiento del agua y, por ende, donde se desarrollan las actividades agrícolas y productivas. A nivel de mayor detalle, se define como UM de una cuenca a la porción de territorio que posee un uso o varios usos de la tierra, y cuyo límite responde al área de dominio de uno o varios canales, según el manejo y distribución del agua en la cuenca, o puede también responder a un área de uso particular del suelo. En cualquiera de ambos casos, en las áreas definidas puede existir la utilización del recurso hídrico subterráneo en forma exclusiva o mixta junto al superficial (7).

⁴ MU: Portion of the territory that possesses an use or various uses of the land, and whose limit responds to the control area of one or various irrigation canals, according to the management and distribution of the water in the basin.

Esta herramienta de gestión genera un diagnóstico dinámico de la situación, ya que puede ser perfeccionado a través de la investigación de las variables que intervienen en el proceso de contaminación del agua por efluentes.

Además, es una herramienta práctica porque jerarquiza las prioridades de gestión, de acuerdo con un orden de aplicación gradual de medidas de manejo del riesgo de contaminación.

Teniendo en cuenta la tendencia mundial de reducción de glaciares por efecto del calentamiento global y su impacto negativo en los caudales de los ríos, es indispensable y urgente establecer prioridades de gestión para preservar la calidad del recurso hídrico.

This feature gives to this method a dynamic approach. Additionally, it is a practical tool since it allows the possibility of making a ranking of management priorities according to a gradual application of measures for water pollution risk reduction.

Taking into account the worldwide glacier retreat tendency due to Global Warming and the related reduction of glacier-fed river discharges, it is essential to take water control measures as soon as possible.

Key words

risk • pollution • wastewater • water resources • priorities of management

Palabras clave

riesgo • contaminación • efluentes • recurso hídrico • prioridades de manejo

INTRODUCCIÓN

Los estándares de calidad ambiental, planteados tanto a nivel global como a nivel local, en la mayoría de los casos, son metas difíciles de alcanzar, sea por problemas técnicos, por falta de predisposición o de solvencia monetaria de los generadores, prioridades sociales o debido a la ausencia de controles eficientes y de una adecuada política en temas ambientales, entre otras razones.

Frente a esta situación, se debe tener en cuenta que por ser el ambiente una interacción continua entre los subsistemas social, económico y físico-biológico, las medidas de control ambiental deben aplicarse de tal manera que el impacto sobre los intereses sociales y económicos sea mínimo o simplemente no exista. La finalidad siempre será alcanzar los estándares de calidad ambiental vigentes⁵; sin embargo, debe procederse de modo gradual y con planteos estratégicos.

Tales aplicaciones graduales y estratégicas necesitan de una herramienta capaz de jerarquizar medidas de control ambiental de acuerdo con la urgencia e importancia de su implementación.

Es por ello que se pretende diseñar una herramienta de gestión orientativa al momento de tomar decisiones en cuanto al modo y la secuencia a seguir al establecer medidas de control ambiental.

5 Principalmente las restricciones de uso y disposición final del recurso hídrico se resumen en el cumplimiento, por parte de los generadores de efluentes, de las Resoluciones 778/96 y su modificatoria, la Resolución 627/00 del Departamento General de Irrigación (DGI) (4, 5), si la disposición final es el vertido a cauce, reúso agrícola, pozo absorbente o inyección, extracción en camiones atmosféricos y lagunas de infiltración. Debe cumplirse con la Resolución 35/96 del Ente Provincial del Agua y de Saneamiento (EPAS) (10) si la disposición final es la red cloacal.

Puesto que una misma fuente de contaminación puede generar efectos ambientales diferentes según su localización relativa en el territorio, de acuerdo con las características de éste, se planteó la siguiente hipótesis:

La contaminación del recurso hídrico a causa de efluentes industriales y de otro tipo⁶ se ha manifestado de manera diversa en las distintas Unidades de Manejo del oasis del río Tunuyán Inferior debido a que presentan diferentes tipos de vulnerabilidad. Por lo tanto, se requerirá de una Gestión Ambiental diferencial para cada una de ellas en particular según la urgencia de manejo que se presente.

Objetivo

- Elaborar una herramienta de gestión ambiental capaz de discriminar diferentes situaciones de contaminación del recurso hídrico de acuerdo con la urgencia en la aplicación de medidas de gestión.

MATERIALES Y MÉTODOS

El método propuesto se ha basado en los principios de la Evaluación del Impacto Ambiental y de la Evaluación del Riesgo. La ejecución del método consideró el concepto de cuenca superficial y subterránea integrada y el de oasis de riego subdividido en Unidades de Manejo (UM).

Para definir el área en donde se aplicaría el método propuesto fue necesario que dependiera de una cuenca, ya que no se puede analizar el recurso hídrico en forma parcial porque, de esta manera, se estaría analizando erróneamente el fenómeno de la contaminación, considerando que una cuenca es un sistema de interacciones donde las actuaciones de la parte superior repercuten en la inferior.

Por otro lado, el área debía presentar un número lo suficientemente representativo de actividades que potencialmente pudieran afectar la calidad del recurso hídrico. Este número debía ser, además de representativo, manejable para un estudio piloto y con múltiples actividades.

La cuenca del río Tunuyán Inferior se adaptaba perfectamente a los requerimientos anteriormente expuestos. Cabe señalar que no es una cuenca por sí misma, ya que forma parte, en conjunto con el tramo superior del río Tunuyán, de una sola cuenca. En lo referido al recurso hídrico subterráneo, la cuenca hidrológica es una sola.

A nivel superficial este aspecto no se considera relevante, ya que existe un dique embalse (El Carrizal) que divide la cuenca del río Tunuyán en Superior e Inferior. Lo que debe ser considerado es que existe un ingreso (input) al oasis irrigado de la zona de estudio, de agua de menor calidad que si proviniera de deshielo, ya que recibe

6 Contaminación producida por "otros establecimientos". Involucra actividades económicas tales como impresión, lavadero de automóviles, aserraderos, plantas de tratamiento de efluentes cloacales, etc., donde generalmente la peligrosidad del efluente está dada por los constituyentes y no por un elevado caudal.

efluentes de distintas actividades aguas arriba. En general, ello no afecta el objetivo del estudio, debido a que la calidad base del agua puede variar; lo que se plantea en este estudio es en qué situaciones es posible que se degrade el nivel de base cero de calidad del recurso hídrico y en qué grado, como consecuencia de la contaminación por efluentes en el oasis del río Tunuyán Inferior, subdividido en Unidades de Manejo (UM).

La ejecución del método constó de tres grandes componentes, los cuales se enumeran a continuación:

1. Determinación de la Vulnerabilidad por UM (V UM).
2. Determinación de la Peligrosidad Total del efluente por UM (PT UM).
3. Determinación de Prioridades de Manejo del Riesgo de contaminación del recurso hídrico por UM (PMR).

Para la definición de los tres componentes del método fue necesario considerar objetivos intermedios, los que derivaron en la obtención de los productos. Éstos fueron mapas de Vulnerabilidad, Peligrosidad, Clases de Riesgo y Prioridades de Manejo del Riesgo por Unidad de Manejo de la cuenca, además de una base de datos dinámica que puede ser analizada desde distintos enfoques⁷ y, a su vez, actualizada a medida que se van profundizando los conocimientos acerca de los atributos que hacen a la peligrosidad y a la vulnerabilidad.

En la tabla 1 (pág. 39) se enumeran, por componente, los objetivos intermedios involucrados en la determinación de los diferentes índices (V UM, PT UM y PMR).

Para la confección de la base de datos requerida por el método se utilizó información elaborada por la Unidad de SIG y Teledetección del Departamento General de Irrigación (6), donde los establecimientos relevados durante el Censo Nacional Económico, 1994 (CNE'94) se georreferenciaron por UM⁸.

El CNE'94 (1) identifica los establecimientos según el código otorgado por un patrón estandarizado de la «Clasificación Industrial Uniforme»⁹ de todas las Actividades Económicas (CIIU). Esta base de datos se compone de: nombre del titular, nombre del establecimiento, domicilio, tamaño y número de empleados.

Por otro lado, se utilizó la base de datos del Registro Único de Establecimientos (RUE) del DGI. En ésta se identifican los establecimientos a través de un código, según el «Clasificador de Actividades de Establecimientos», con el nombre del titular, nombre del establecimiento, domicilio, caudal vertido, tiempo de aplicación al año y tipo de disposición final. También se utilizó la cartografía elaborada por el área de SIG y Teledetección (6), además de bibliografía disponible.

7 Por ejemplo, peligrosidad por rubro CIIU (Clasificación Industrial Uniforme), peligrosidad y zona (urbana, rural, suburbana), peligrosidad y tamaño del establecimiento. En cuanto a la vulnerabilidad se pueden realizar "simulaciones", es decir, si se fortalecen en una UM, a través de medidas de control ambiental, determinados atributos de la vulnerabilidad pueden hacer que el recurso hídrico de esa UM disminuya su vulnerabilidad a la contaminación por efluentes y por ende, brinda un indicador de desempeño de la Gestión Ambiental establecida, lo mismo para la Peligrosidad del efluente por establecimiento.

8 Durante la elaboración de este trabajo se publicaron los datos actualizados del CNE, sin embargo, no se utilizaron por no estar vinculados a la Unidad de Manejo.

9 La CIIU es promovida por la Comisión Estadística de las Naciones Unidas y se toma como base para el Censo Nacional Económico de la República Argentina.

Riesgo de contaminación del recurso hídrico por efluentes

Tabla 1. Objetivos intermedios para cada componente analizado.

	Objetivos Intermedios	Método utilizado	Productos	
Componente	Vulnerabilidad por Unidad de Manejo	Identificar factores ambientales y recursos naturales de la cuenca.	Recopilación bibliográfica. Análisis de cartografía.	Mapa de vulnerabilidad por UM
		Identificar características intrínsecas de las UM que las hacen susceptibles de ser dañadas –vulnerables- ante un hecho no deseado (contaminación del agua).		
		Identificar características de origen antrópico en cada UM que pudiesen potenciar los efectos negativos del hecho no deseado.		
		Determinar la importancia relativa de los factores ambientales de la cuenca.	Consulta a paneles de expertos (2) y taller de expertos (8). Ponderación, es decir, jerarquizarlos de acuerdo con la capacidad de éstos para mantener la calidad ambiental actual según los distintos grupos de la sociedad que hacen uso de ellos.	
		Elaborar una escala de puntaje aplicada a las distintas características en las que puede presentarse cada factor ambiental susceptible de ser dañado.	Recopilación bibliográfica y consulta a expertos. El mayor puntaje se le asigna a la característica que podría producir mayores consecuencias indeseables o de mayor magnitud de efectos negativos.	
		Elaborar el algoritmo que determinará la vulnerabilidad por UM teniendo en cuenta los objetivos anteriores.	Ponderación de factores ambientales de acuerdo con la bibliografía consultada, análisis de cartografía y de la ordenación de factores dada por el panel de expertos.	
		Traducir las características de cada UM a valores de puntaje para el cálculo de la vulnerabilidad (valor de la vulnerabilidad).	Elaboración de matriz. En columnas, atributos de la vulnerabilidad y en filas, las Unidades de Manejo.	
		Determinar los tipos de vulnerabilidad de acuerdo con el valor de la vulnerabilidad presentado por cada UM.	Determinación de intervalos de valores de vulnerabilidad.	
	Peligrosidad del efluente	Determinar los tipos de efluentes posibles según clase, concentración probable de contaminantes, en relación con estándares de calidad, y efectos ambientales de los constituyentes del efluente.	Consulta de legislación vigente (Res 778/96 DGI). Análisis de efectos ambientales. Recopilación bibliográfica. Análisis de las bases de datos de organismos de control (14) y censo de actividades económicas de la cuenca (1). Establecimiento de nuevas clasificaciones de vertidos (adaptación de clasificación existente - DGI).	Base de datos con la peligrosidad del efluente por establecimiento generador
		Determinar la intensidad de contaminación según caudal, tipo de disposición final y tiempo de aplicación.	Análisis de las bases de datos de organismos de control (RUE). Análisis de los resultados de muestras de efluentes tomadas por Policía del Agua (DGI). Análisis de informes técnicos de sectores productivos elaborados por organismos nacionales e internacionales reconocidos.	
		Determinar la importancia relativa de cada atributo de la peligrosidad en cuanto a su capacidad para dañar o potenciar el daño. Ponderar.	Consulta bibliográfica. Consulta a expertos.	
		Elaborar una escala de puntaje de acuerdo con las características que puedan presentar los diferentes atributos de la peligrosidad del efluente.	El puntaje mayor se aplica a las características que pudiesen presentar mayor capacidad para provocar daños.	
		Elaborar el algoritmo que determinará la peligrosidad por UM.		
		Traducir las características de los atributos de la peligrosidad, presentados por cada establecimiento, a valores de puntaje.	Análisis de bases de datos de organismos de control. Consulta bibliográfica. Elaboración de matriz. En columnas, atributos de la peligrosidad y en filas, los establecimientos generadores de efluentes.	
Determinar los tipos de peligrosidad de acuerdo con el valor de la peligrosidad presentado por cada establecimiento.		Asignación de acuerdo con intervalos de valores de peligrosidad.		
Determinar la Peligrosidad Total por Unidad de Manejo (PT UM).		Correlación del aspecto "cantidad de establecimientos por UM" con "tipos de peligrosidad de establecimientos por UM". Ponderación.	Mapa de peligrosidad por UM	
Prioridad de manejo del riesgo	Combinar los tipos de vulnerabilidad por UM y los tipos de peligrosidad total del efluente por UM.	Matriz de doble entrada. En columnas, tipos de peligrosidad, en filas tipos de vulnerabilidad.	Mapa de prioridades de manejo del riesgo	
	Determinación de prioridades de manejo por UM de la cuenca.	Jerarquización de UM de acuerdo con la ordenación interna de cada clase de riesgo.		

RESULTADOS

1. Determinación de la Vulnerabilidad por UM (V UM)

Según Conesa Fernández-Vítora (2), «los distintos factores del medio presentan importancias distintas de unos respecto a otros, en cuanto a su mayor o menor contribución a la situación ambiental. Cada factor representa sólo una parte del medio ambiente». Se debe tener en cuenta que la importancia relativa de factores y recursos naturales puede variar de una cuenca a otra según los intereses de la sociedad que hace uso de éstos. En la tabla 2 se consignan los factores ambientales identificados y la escala de puntaje correspondiente resultante de la consulta bibliográfica y la consulta a expertos. Esta tabla sólo es aplicable para la cuenca del río Tunuyán Inferior¹⁰.

Tabla 2. Escala de puntaje para caracterizar la Vulnerabilidad por Unidad de Manejo.

Factor Ambiental	Atributo	Puntaje	Término de referencia
Acuíferos	Acuífero libre (zona de recarga)	8	Ac
	Área de surgencia	6	
	Acuífero confinado	4	
Niveles freáticos (isobatas) en metros de profundidad.	0 – 1 (muy cercano a la superficie)	8	Nf
	1 – 2	6	
	2 – 3	4	
	3 a más	1	
Isopermeabilidad del suelo (m/día)	101 – 150 (muy permeable, alcanza mayor profundidad)	8	Is
	81 – 100	6	
	51 – 80 (media)	4	
	31 – 50	2	
	10 – 30 (infiltración muy lenta)	1	
Geomorfología	Zona de abanico aluvial	8	Ge
	Resto de oasis	1	
Fuente predominante de recurso hídrico	Conjunto (superficial + subterráneo)	8	Fu
	Superficial (canales y desagües)	6	
	Subterráneo	1	
Clasificación utilitaria del suelo para riego	Clase 1 (suelo apto para riego)	8	Cl
	Clase 2 (moderadamente apto)	4	
	Otra	1	
Pozos de extracción de agua subterránea abandonados	Densidad mayor al 50 %	8	Po
	Densidad menor al 50 %	4	
Demanda predominante del recurso hídrico	Humano y agrícola combinado	8	De
	Riego agrícola	6	
	Humano	4	
	Otros	1	
Uso predominante del suelo	Cultivos	8	Us
	Urbano	6	
	Cultivos y monte	4	
	Monte	1	

El algoritmo resultante que determinó para cada UM el Tipo de Vulnerabilidad representa, por un lado, la importancia relativa de los factores y recursos ambientales en cuanto a su contribución para mantener la calidad ambiental de la cuenca¹¹ y, por otro lado, la manera en que influyen en el proceso de contaminación del recurso hídrico y sus consecuencias.

¹⁰ En la selección de factores ambientales no se consideró la flora y la fauna debido a que se evalúa el riesgo de contaminación del recurso hídrico por efluentes en relación con los usos antrópicos de este recurso y no el de la alteración de ecosistemas por los efectos de los efluentes.

¹¹ Es decir, a qué factor se va a proteger más. En el caso del algoritmo de la cuenca del río Tunuyán Inferior, el recurso Acuíferos es al que se le deberá destinar más protección y, por lo tanto, el que tiene mayor peso relativo al momento de definir la vulnerabilidad de la UM.

El algoritmo utilizado para definir la vulnerabilidad de las UM de la cuenca del río Tunuyán Inferior es el siguiente:

Algoritmo n° 1. Vulnerabilidad por UM

$$V = 6 Ac + 5 Fu + 4 Nf + 3 Po + 2 Is + Ge + Cl + Us + De$$

Donde:
 V = Vulnerabilidad
 Ac = Acuífero
 Fu = Fuente predominante de provisión del recurso hídrico
 Nf = Profundidad del nivel freático
 Po = Estado de los pozos de extracción de agua subterránea
 Is = Isopermeabilidad
 Ge = Geomorfología
 Cl = Aptitud del suelo para riego
 Us = Uso predominante del suelo
 De = Demanda

El valor máximo de vulnerabilidad para el algoritmo número uno es de 192 y el mínimo de 51. Para caracterizar los tipos de vulnerabilidad se elaboraron rangos¹² de acuerdo con la puntuación obtenida por UM lo que se presenta en la tabla 3.

Tabla 3. Rangos y tipos de vulnerabilidad considerados

Valor de vulnerabilidad	Tipo de vulnerabilidad
51 a 79	Muy Baja
80 a 108	Baja
109 a 137	Media
138 a 165	Alta
166 a 192	Muy Alta

Al traducir las características ambientales de cada Unidad de Manejo a valores de la escala de puntaje y aplicarles el algoritmo, se obtuvieron los resultados que se presentan en la tabla 4 (pág. 42).

1.1. Importancia relativa de los atributos de la vulnerabilidad

De la ordenación general, en primer lugar, se prioriza el recurso agua y, en segundo, el recurso suelo debido a que, por ser Mendoza semidesértica, el mantenimiento de la calidad como el uso sostenible del recurso hídrico es esencial para el desarrollo socioeconómico de la provincia. Por lo tanto, el recurso hídrico presentará un peso relativo mayor que otros factores ambientales.

La importancia relativa de los distintos atributos de la vulnerabilidad ponderan el factor agua subterránea en primer lugar y la calidad del agua superficial en segundo término debido a que:

- en épocas de sequía, el recurso superficial disponible es escaso y se maximiza el uso del agua subterránea;
- la capacidad de asimilación (la reversibilidad natural) del recurso hídrico subterráneo es más lenta en comparación con el recurso hídrico superficial;
- los usos del agua subterránea están relacionados con el consumo humano directo (agua potable, forma parte de productos y procesos industriales, otros).

¹² La elaboración de los rangos se realizó con los mismos criterios usados en Conesa Fernández-Vítora (2).

Tabla 4. Valoración de los atributos de la Vulnerabilidad según el algoritmo n° 1 por UM.

Unidad de Manejo	Atributos										Valor de la Vulnerabilidad	Tipo de Vulnerabilidad
	Acuíferos	Invariable Isopermeabilidad	Geomorfología	Moderadamente variable Niveles freáticos	Variable Fuente predominante	Clase	Pozos	Variable Demanda	Uso del suelo predominante	Valor de la Vulnerabilidad		
Godoy 1	8	4	8	8	6	4	4	6	8	156	Alta	
Chacabuco	8	2	8	4	8	4	4	8	8	148	Alta	
Cruz Bodega	8	2	8	6	6	4	4	6	8	144	Alta	
Reducción	8	4	8	4	6	8	4	6	8	144	Alta	
Auxiliar	8	4	8	4	6	4	4	6	8	140	Alta	
Ovalle	8	4	8	4	6	8	4	6	4	140	Alta	
Sauce	8	4	8	4	6	4	4	6	8	140	Alta	
Constitución	8	2	8	4	6	4	4	6	8	136	Media	
Directas	8	2	8	4	6	4	4	6	8	136	Media	
Enriquez	6	4	8	4	6	4	4	6	8	128	Media	
Chimbas	1	2	1	6	8	4	8	8	8	119	Media	
Montecaseros	1	2	1	6	8	4	8	8	8	119	Media	
Norte Alto Verde	1	2	1	8	8	4	4	8	8	115	Media	
Sur Alto Verde	1	2	1	6	8	4	4	8	8	107	Baja	
Godoy 2	1	4	8	6	6	4	4	6	8	106	Baja	
Tunuyán Inferior 1	8	1	1	4	1	1	4	8	8	101	Baja	
Norte	1	2	1	8	6	4	4	6	4	99	Baja	
Los Oroyanes	1	2	1	4	8	4	4	8	8	99	Baja	
Nuevo Gil	1	1	1	4	8	4	4	8	8	97	Baja	
San Isidro	1	2	8	4	6	4	4	6	8	94	Baja	
Tunuyán Inferior 6	1	2	1	4	6	1	8	6	4	92	Baja	
Dormida	1	1	1	4	6	4	4	6	8	85	Baja	
Santa Rosa	1	1	1	4	6	4	4	6	8	85	Baja	
La Paz-Nva. California 2	1	1	1	4	6	1	4	8	4	80	Baja	
La Paz-Nva. California 1	1	1	1	4	6	1	4	6	4	78	Muy Baja	
Tunuyán Inferior 8	1	1	1	4	6	1	4	6	1	75	Muy Baja	
Tunuyán Inferior 4	1	2	1	4	1	4	8	8	4	72	Muy Baja	
Tunuyán Inferior 3	1	2	1	4	1	1	8	8	4	69	Muy Baja	
Tunuyán Inferior 2	1	2	1	4	1	4	4	8	4	60	Muy Baja	
Tunuyán Inferior 5	1	1	1	4	1	4	4	8	4	58	Muy Baja	
Tunuyán Inferior 7	1	1	1	4	1	4	4	8	4	58	Muy Baja	

Ante estos tres aspectos, la importancia relativa del recurso hídrico subterráneo se verá maximizada. Por lo tanto, la jerarquía de los factores y recursos ambientales de la cuenca del río Tunuyán Inferior en cuanto a su contribución para mantener la calidad ambiental de cada UM y, por ende, de la cuenca, queda determinada y justificada a continuación.

1.1.1. Recurso hídrico subterráneo

A nivel de cuenca, la del Tunuyán Inferior, presenta una degradación en aumento de la calidad del agua de los niveles acuíferos, por lo tanto, se prioriza el acuífero libre (área de recarga del acuífero) en relación con los acuíferos confinados. Debe hacerse notar que el tercer nivel confinado aún conserva aguas de buena calidad y se encuentra, en cierta manera, protegido contra la contaminación industrial por la profundidad a la que se halla.

En segundo lugar se prioriza el área de surgencia ya que los costos para explotarla son mínimos, tiene alta productividad porque se encuentra a poca profundidad y prácticamente no hay que bombearla, además de que cuenta con cierta calidad porque se encuentra entre el acuífero libre y el confinado. También por esta misma razón es más vulnerable que el acuífero confinado.

1.1.2. Fuente predominante de recurso hídrico

En cuanto a la fuente de provisión del recurso hídrico se le da mayor peso a la provisión conjunta de agua superficial con agua subterránea, ya que el agua superficial, por estar en contacto directo con la superficie, es susceptible de recibir las descargas de residuos sólidos, efluentes líquidos y aportes naturales de sustancias que degradan su calidad y además se le adiciona otro factor de riesgo al uso del agua: el de las sustancias que afectan la calidad del agua subterránea.

En segundo lugar se considera el agua superficial -por las razones anteriormente expuestas-. Y en tercer lugar se menciona la fuente subterránea, protegida, en cierto modo, por su profundidad del aporte de sustancias contaminantes y por los controles de calidad realizados por empresas potabilizadoras.

1.1.3. Niveles freáticos

Los valores comprendidos entre 0 y 2 metros de profundidad se ponderan con mayor peso ya que coinciden con la zona de exploración de las raíces de los cultivos y pueden ocasionar asfixia radicular, estrés hídrico y acumulación de sales en el suelo.

1.1.4. Pozos de extracción de agua subterránea abandonados

El abandono de los pozos en el área de estudio puede estar dado por dos razones: porque el agua extraída no es apta para riego debido a su contenido salino o porque está en mal estado o corroído. Por lo tanto, cuando la densidad de pozos abandonados en una UM supera el 50%¹³ se lo pondera con mayor jerarquía que cuando la densidad es menor. Es necesario tener en cuenta que la cercanía de pozos inactivos y/o abandonados aumenta el riesgo de contaminación del recurso hídrico.

¹³ El Departamento General de Irrigación ha declarado un área de restricción para nuevas perforaciones por avance del proceso de salinización en los últimos años. Tiene una superficie de 23,027 ha y está ubicada en el departamento San Martín: comprende los distritos Alto Salvador, Chapanay, Montecaseros y Tres Porteñas. Los pozos en mal estado superan el 50 % de perforaciones totales del área lo que se considera, según el organismo de control, como situación más vulnerable; en el resto de la cuenca hay menor porcentaje y, por ende, el factor ambiental es menos vulnerable.

1.1.5. Isopermeabilidad del suelo

Se destaca además el factor Isopermeabilidad del suelo, es decir, a qué velocidad se está infiltrando el agua que ya fue usada por las industrias y otros establecimientos, e indirectamente permite conocer los lugares donde puede infiltrarse y alcanzar así reservas de agua subterránea de potencial uso.

1.1.6. Demanda predominante del recurso hídrico

Con respecto a la demanda, cuando las parcelas de riego se abastecen de agua de pozo, se infiere que parte de ella puede ser utilizada para consumo humano sin el control del Ente Provincial de Agua y Saneamiento (EPAS)¹⁴; no sucede lo mismo donde predomina la fuente superficial, aunque pueden existir aún casos en los cuales se dé esta situación. Por esta razón se prioriza en primer lugar y en segundo la demanda para riego agrícola por las consecuencias sobre el recurso agua y suelo.

En tercer lugar se pondera la demanda para consumo humano ya que ésta cuenta con controles estrictos de calidad realizados por el EPAS. Y, por último, otros usos que no involucran afectación de la salud pública ni de los recursos naturales.

1.1.7. Geomorfología

En los abanicos aluviales se encuentran los suelos más fértiles, por lo tanto, se lo pondera con mayor valor en comparación con el resto del oasis.

1.1.8. Clasificación utilitaria del suelo para riego (3)

Se le da mayor importancia a la Clase 1 que es muy apropiada para riego, tiene muy escasas limitaciones que restringen su uso y se adapta a una amplia serie de cultivos. Los límites establecidos en las pautas para esta clase son los siguientes:

- profundidad mayor de 1,20 m hasta ripio;
- sin freática ni capa de lenta profundidad;
- textura arenosa fina a franca-arcillosa-friable;
- topografía llana que permite sistematizar para riego con bajo movimiento de tierra, menor de 300 m³/ha.

Le sigue en orden de importancia la Clase 2 cuyos suelos son moderadamente apropiados para el riego, y poseen algunas limitaciones que reducen la elección de cultivos o exigen prácticas especiales de manejo. Una limitación con respecto a algunas de las características de los suelos mencionados en la Clase 1 los coloca en la Clase 2. Las limitaciones establecidas son las siguientes:

- profundidad menor de 1,20 m y mayor de 0,80 m hasta ripio;
- presencia de una capa de profundidad lenta;
- suelo de textura arenosa a gruesa en todo el perfil con baja retención hídrica;
- topografía ondulada con presencia de médanos que significa un alto costo de sistematización para riego, movimiento de tierra de 300 a 600 m³/ha.

Por último se considera los suelos de clase 3, 4 y 5 que abarcan un rango de clasificación desde poco apropiados para riego hasta muy poco apropiados para riego.

¹⁴ Ente que se encarga del control de la calidad del agua para consumo humano.

1.1.9. Usos del suelo

Se le da mayor importancia al valor cultivos debido a que la extensión territorial en el oasis analizado es mayor. En este caso la afectación a la calidad de los factores ambientales es directa, mientras que la circulación del agua contaminada por una zona urbana tiene efectos ambientales de menor gravedad ya que se relacionan con generación de olores, aspectos estéticos desagradables, entre otros efectos. Es decir, ninguna persona va a consumir agua de un canal que pase por zona urbana si existe dotación de agua potable en ésta.

2. Determinación de la Peligrosidad del efluente

2.1. Determinación de la Peligrosidad del efluente por establecimiento

Se tomaron en cuenta los aspectos detallados en la tabla 5.

Tabla 5. Aspectos ambientales para la caracterización de la Peligrosidad de los efluentes.

Clase de contaminante	Intensidad de la contaminación	Efectos ambientales
Tendencia a la degradación o transformación <i>in situ</i> como resultado de la actividad bacteriológica o reacción química (persistencia).	Concentración relativa de cada contaminante involucrado en relación con los valores recomendados por la Resolución 778 del DGI y la 35 del EPAS.	Efectos sobre la salud del hombre. Efectos sobre suelo, agua, cultivos.
	Caudal del vertido.	Efectos sobre los usos del agua (consumo, industrial, recreación).
Tendencia hacia el retardo como resultado de procesos intercambio catiónico, sorción, otros (movilidad).	Tiempo de aplicación de la carga contaminante (todo el año, meses, accidentalmente).	Efectos sobre flora, fauna. Otros.
	Lugar de vertido, disposición final (canales y desagües, cloaca, reúso, tanques atmosféricos, otros).	

Foster e Hirata (12) modificado por Fernández (11)

Teniendo en cuenta la priorización de contaminantes realizada por la legislación vigente (Resolución 778/96 del DGI) en cuanto a su peligrosidad y los efectos ambientales de los constituyentes de las aguas residuales¹⁵, se establecieron nuevas clasificaciones de vertidos, más acotadas para su gestión, las que se presentan en la tabla 6 (pág. 46) en el apartado «tipo de efluente». Dichas clasificaciones consideran los aspectos que se detallan en la tabla 5.

Teniendo en cuenta la nueva clasificación, se le asignó a cada establecimiento de las diferentes UM un tipo de efluente representativo, de acuerdo con el código CIU al cual perteneciese.

Una vez definido el tipo de efluente por rubro, se elaboró el índice «Peligrosidad del efluente» para el cual se estableció la escala de puntaje, consignada en la tabla 6, según las características presentadas por el efluente de cada establecimiento:

¹⁵ La Res. 778/96 del DGI divide los establecimientos según la peligrosidad de los efluentes en Grupo 1, cuando no aporta elementos tóxicos o peligrosos al dominio público y son fácilmente controlables, y en Grupo 2, cuando hay presencia de tóxicos o sustancias peligrosas. Para cada categoría anexa un listado de rubro de actividades incluidas.

Tabla 6. Atributos para la determinación del Índice de Peligrosidad del efluente¹⁶.

Atributo		Puntaje
Tipo de efluente (TE)		
Uno	A Predominio de materia orgánica	1
	B Predominio de sólidos disueltos (especialmente sales)	2
	C A o B con trazas de contaminantes prioritarios y/o patógenos	3
Dos	A Altas concentraciones (extremas) de materia orgánica o sólidos disueltos con trazas de contaminantes y/o patógenos	4
	B Predominio de contaminantes prioritarios orgánicos	5
	C Predominio de contaminantes prioritarios inorgánicos	6
	D Predominio de contaminantes prioritarios inorgánicos y orgánicos	7
Caudal del efluente en m³/año (Q)		
	Hasta 1000	1
	1001 a 10000	2
	10001 a 50000	3
	Más de 50000	4
Tiempo de aplicación de la carga (Tp)		
	Accidental	1
	Meses	Nº de meses / año
	Todo el año	12
Disposición final (Df)		
	No vuelca	1
	Reciclado	1
	Reúso agrícola / Infiltración previo tratamiento	2
	Vuelca al cauce	3
	Red cloacal	4
	Lagunas de infiltración sin tratamiento previo	5
	Pozo absorbente o inyección	6
	Extracción en camiones atmosféricos	6
	Otros	7

2.1.1. Importancia relativa de los atributos de la Peligrosidad del efluente

Para determinar el algoritmo que caracterizará la peligrosidad del efluente por establecimiento se ponderó con mayor peso el tipo de efluente, ya que la principal amenaza de un vertido está representada por las clases de contaminantes que lo constituyen. En segundo lugar, la disposición final, ya que significa mayor o menor probabilidad de contaminación del recurso hídrico a través de las distintas vías ambientales¹⁷ implicadas en cada tipo de disposición. Y por último, el caudal y distribución en el tiempo, que magnifican la peligrosidad cuando los dos anteriores no son ambientalmente compatibles, es decir, que pueden generar que la capacidad de autodepuración del recurso hídrico y la capacidad de filtrado, adsorción y degradación del recurso suelo sean superadas.

✓ Tipo de efluente

Para la división entre grupo Uno y Dos se tomó como referencia la clasificación de establecimientos según la peligrosidad de los efluentes que se establece en la Resolución 778 del DGI. Se analizaron los posibles contaminantes de los efluentes del listado presentado en dicha resolución y luego se jerarquizaron de acuerdo con la tendencia a la biodegradabilidad de los contaminantes, concentraciones y a su toxicidad.

¹⁶ Los atributos Caudal y Disposición final fueron tomados de los Clasificadores "Categorías de Contaminación" y "Tipo de disposición" de Policía del Agua del Departamento General de Irrigación.

¹⁷ Es el camino que el contaminante debe recorrer hasta tomar contacto con el recurso hídrico y de esta manera alterar la calidad del agua para los distintos usos que el hombre hace de ella.

Grupo Uno: en este grupo se hace referencia a efluentes cuya concentración de contaminantes no es crítica sino dentro de rangos compatibles con los estándares de calidad propuestos por la legislación vigente. En cuanto a la persistencia y toxicidad, en general, la materia orgánica se degrada en corto tiempo, es decir no es persistente ni tóxica. El contenido salino, por el contrario, persiste, se acumula y puede presentar toxicidad para los cultivos. Y por último, las trazas de contaminantes prioritarios¹⁸ y/o patógenos, altamente persistentes y tóxicos.

Grupo Dos: en este grupo se incluyeron aquellos efluentes cuyos constituyentes sobrepasan los estándares de calidad por encima del máximo tolerado, en este caso, las concentraciones de sólidos disueltos, materia orgánica y/o patógenos extremadamente elevadas. En cuanto a los contaminantes prioritarios, éstos se consideran a concentraciones elevadas en conjunción con su alta toxicidad y persistencia. Se asume que los contaminantes prioritarios orgánicos son de menor relevancia en comparación con los inorgánicos ya que sólo afectan el recurso hídrico subterráneo, mientras que los segundos afectan tanto el recurso subterráneo como el superficial. Por último, la conjunción de los dos tipos de contaminantes prioritaros sinergia los efectos negativos sobre el hombre y el ambiente en general.

✓ *Caudal*

La clasificación de los caudales fue tomada del clasificador de categorías de contaminación de Policía del Agua del DGI y se le aplicó un puntaje teniendo en cuenta que a mayor caudal vertido mayor es la afectación al recurso agua.

✓ *Tiempo de aplicación de la carga*

Los datos se obtuvieron de la base de datos del Registro Único de Establecimientos (RUE) y sobre ésta se hizo una clasificación en tiempo de aplicación «accidental», a la cual se le dio el puntaje más bajo por implicar menor afectación al recurso hídrico por su baja probabilidad de ocurrencia; «meses» donde el puntaje asignado depende de la cantidad de meses de vertido y, por último, «anual» al que se le aplica el puntaje más alto por ser de manera continua y por no dar tiempo para que naturalmente ocurra autodepuración.

✓ *Disposición final*

Las opciones «no vuelca» y «reciclado» se consideran como las más compatibles ya que si existe algún tipo de vertido es mínimo y puntual en el tiempo, además que se prioriza el uso eficiente de un recurso escaso. Por lo tanto, se le da el menor valor en cuanto a su contribución a la degradación del recurso.

Con respecto al «reúso agrícola», si bien ésta es una opción de impacto ambiental positivo, los estándares de calidad exigidos son menos rígidos. El reúso implica una aplicación parcial, en cuanto a superficie afectada, y periódica, en cuanto a tiempo de aplicación y, además, una mayor concentración de contaminantes como contenido salino, detergentes, sodio, cloruros, cianuros, manganeso y otros, aunque los estándares son más estrictos para parámetros como mercurio, nitritos y otros en comparación con los estándares exigidos para verter a cauce público. Se exige tratamiento previo del efluente.

¹⁸ Aquellas sustancias que tengan relación o potencial relación con procesos carcinógenos, mutaciones, teratomas o alta toxicidad.

En cuanto al «vuelco al cauce», se estaría afectando mayor superficie y generando conflictos no sólo al recurso agua y suelo sino a otros como el factor humano (confort, estética, otros usos del suelo y el agua, etc.). Se exige tratamiento previo del efluente.

En la disposición final «red cloacal» cabe señalar que el control no es efectivo a nivel de actividades económicas de pequeña escala, más bien éste se aplica a nivel de grandes industrias. Si se tiene en cuenta que en el área de estudio las actividades de pequeña escala coinciden con los rubros que presentan contaminantes prioritarios en altas concentraciones, se puede apreciar que los constituyentes persistentes de los efluentes generados se vierten sin control. Por ello, el tratamiento de efluentes cloacales no es efectivo en cuanto a remoción de contaminantes prioritarios, sí en cuanto a remoción de patógenos y sólidos en suspensión. Ventajosamente el caudal vertido por estos establecimientos corresponde al de menor puntaje, por ende, menor caudal.

Las «lagunas de infiltración» -en este caso- se consideran como una actividad no compatible ya que no se realiza tratamiento previo a la infiltración y se está aplicando un caudal constante que pasa a ser una carga hidráulica que genera movimiento vertical del agua contaminando la freática y, si los constituyentes son persistentes, puede alcanzar niveles acuíferos.

La disposición final en «pozos absorbentes», la «inyección» y la «extracción en camiones atmosféricos» que termina siendo inyectada o, en el peor de los casos, vertida en lugares no autorizados, se considera como una de las mayores amenazas ya que en general son vertidos sin ningún tipo de tratamiento; además, se le estaría quitando la acción del suelo como depurador y hay mayor probabilidad de que los contaminantes alcancen los niveles acuíferos. Por último, la categoría «otros» toma el principio de precaución en el que, ante lo desconocido, es acertado suponer la peor disposición final del efluente.

A partir de la ordenación relativa resultante de los atributos de la peligrosidad se procedió a clasificar los establecimientos de cada UM según sus características. Se elaboró una tabla en la cual los datos se tradujeron a puntajes los que, insertos en un algoritmo, clasificaron cada establecimiento (inscripto en el RUE y/o censado) de acuerdo con el tipo de peligrosidad del efluente.

A continuación se presenta el algoritmo que se determinó con el objetivo de jerarquizar los distintos efluentes de los establecimientos en relación con los otros¹⁹.

Algoritmo n° 2. Peligrosidad del efluente por establecimiento

$$P = 3TE + 2Df + Q + Tp$$

Donde:
P = Peligrosidad del efluente por establecimiento
TE = Tipo de efluente
Df = Disposición final
Q = Caudal
Tp = Tiempo de aplicación

¹⁹ Para la elaboración de este algoritmo se contó con el asesoramiento del Ing. Marcelo Toledo, a cargo del área de Hidrología de los Planes Directores de Cuenca del Departamento General de Irrigación.

Los valores obtenidos a partir de este algoritmo pueden variar desde 7 hasta 61. A su vez, éstos se dividen en distintos tipos de peligrosidad de acuerdo con el valor que tome cada establecimiento. En la tabla 7 se identifican los rangos de peligrosidad considerados.

Tabla 7. Rangos y tipos de peligrosidad considerados.

Valor de la peligrosidad	Tipo de peligrosidad
	sin establecimientos / sin peligrosidad
7 a 17	Muy Baja
18 a 28	Baja
29 a 39	Media
40 a 50	Alta
51 a 61	Muy Alta

Para el procesamiento de la información se confeccionó una base de datos en la que se combinaron los datos relevados en el CNE'94 (1) y se le adicionaron los datos del RUE (14). En aquellos casos en los cuales los establecimientos censados no estaban inscriptos en el RUE y/o no existían datos, se asumieron características para cada establecimiento, las que se indican en la tabla 8.

Tabla 8. Características asumidas de los establecimientos.

Tipo de efluente	Caudal	Tiempo de aplicación	Disposición Final
Caso 1			
No se identifica el rubro. Se asume el más frecuente en el área de estudio (oasis del río Tunuyán Inferior).	No se especifica el caudal vertido y existen establecimientos de actividad y tamaño similar. Se asume el caudal del establecimiento conocido.	No existe información del tiempo de vertido. Se asume que vierte "todo el año": esto subiría el valor de aplicarle el menor caudal. Se aplica el principio de precaución.	No se identifica la disposición final y la localización del establecimiento es zona rural o suburbana. Se asume la disposición final más común en la zona de estudio.
Caso 2			
El establecimiento realiza diferentes actividades (diferentes rubros). Se considera la actividad con efluente más peligroso.	No se especifica el caudal vertido y no existen establecimientos similares. Se asume el menor caudal (hasta 1000 m ³ /año).		No se identifica la disposición final, el tamaño del establecimiento es el menor y se localiza en zona urbana. Se asume que vierte a cloaca.

La tabla completa de determinación de la peligrosidad del efluente para cada establecimiento no se presenta en este trabajo por respeto a la privacidad de los establecimientos. Sin embargo, se elaboró la tabla 9 (pág. 50) que sintetiza los tipos de peligrosidad por UM y la cantidad de establecimientos por tipo de peligrosidad.

2.2. Determinación de la Peligrosidad Total por Unidad de Manejo (PT UM)

La determinación de la Peligrosidad a nivel de establecimiento no basta para clasificar las UM ya que, como se puede apreciar, cada una de ellas presenta distintos niveles de contribución a nivel de UM en cuanto a los diferentes tipos de Peligrosidad. En algunos casos, las proporciones de dos tipos de peligrosidad son igualmente importantes al momento de su participación en la degradación del recurso. Por lo tanto, es necesario crear un índice representativo y único que permita comparar y

jerarquizar las UM al momento de establecer medidas de gestión, ordenamiento territorial y también para cruzar los datos de Peligrosidad Total por UM con los datos de Vulnerabilidad por UM. Ello derivará en la determinación del riesgo de contaminación del recurso hídrico en cada UM. No se minimiza de ninguna manera el análisis individual, ya que éste es necesario para manejar el riesgo a partir de la gestión ambiental de la peligrosidad del efluente.

Tabla 9. Cantidad de establecimientos por Tipo de Peligrosidad y por UM.

Unidad de Manejo	Muy Baja	Baja	Media	Alta	Muy Alta	Total de actividades
Auxiliar	0	1	2	0	0	3
Chacabuco	0	6	1	0	0	7
Chimbas	0	30	21	26	0	77
Constitución	1	6	19	2	0	28
Cruz Bodega	1	4	1	0	0	6
Directas	0	13	14	14	0	41
Dormida	0	6	2	4	0	12
Godoy 1	0	0	2	0	0	2
La Paz-Nva. California 2	0	7	3	3	0	13
La Paz-Nva. California 1	0	4	1	2	0	7
Los Otoyanes	0	0	1	0	0	1
Montecaseros	0	15	38	9	0	62
Norte Alto Verde	1	41	31	55	0	128
Nuevo Gil	0	0	2	0	0	2
Ovalle	0	0	1	0	0	1
Reducción	3	11	16	0	0	30
San Isidro	0	25	23	13	0	61
Santa Rosa	0	3	1	3	0	7
Sauce	1	7	10	0	0	18
Sur Alto Verde	0	25	16	68	0	109
Tunuyán Inferior 2	0	2	7	0	0	9
Tunuyán Inferior 3	0	3	0	0	0	3
Tunuyán Inferior 4	0	1	1	0	0	2
Tunuyán Inferior 5	0	1	1	0	0	2
Tunuyán Inferior 7	0	2	7	1	0	10
Tunuyán Inferior 8	0	3	19	0	0	22
Total de actividades económicas por tipo de peligrosidad	7	216	240	200	0	663

A nivel de UM, se incorpora al análisis el atributo «Cantidad de Establecimientos», que hasta el momento no había tenido un papel preponderante. La decisión de incluir este atributo viene dada por el conocimiento de que en un mismo territorio (UM) existe un determinado número de establecimientos con diferente Tipo de Peligrosidad y, por lo tanto, proporciones de establecimientos con igual peligrosidad que aportan más o menos a la degradación del recurso hídrico de la UM.

Consecuentemente, no es lo mismo una UM con un establecimiento de Peligrosidad Alta que otra con siete establecimientos de Peligrosidad Alta, ya que las medidas de Gestión Ambiental serán diferentes en cuanto a urgencia de aplicación, exigencias requeridas, intensidad de la contaminación y consecuencias.

Se debe tener en cuenta que la contaminación provocada por establecimientos de bajas peligrosidades puede llegar a representar, en cuanto a importancia de los efectos, similar peligrosidad que establecimientos de Peligrosidad mayor²⁰.

Para la determinación de la Peligrosidad Total por UM se asumen los siguientes enunciados:

- Mayor cantidad de establecimientos implica mayor concentración de éstos en el espacio y, por lo tanto, menor capacidad de autodepuración del recurso hídrico y del suelo.
- A mayor cantidad de establecimientos mayor dificultad de gestión de la contaminación.
- La gestión de tantas actividades económicas de Peligrosidad Muy Baja equivalen a la gestión de un establecimiento de Peligrosidad Muy Alta.
- Disminuyendo la Peligrosidad por establecimiento (P) se reduce la capacidad de dañar del conjunto de establecimientos por UM.

Tomando como base los resultados obtenidos durante el análisis de Peligrosidad por Establecimientos, cuyos resultados expresan la cantidad de establecimientos por Tipo de Peligrosidad y por UM, y los enunciados asumidos *up supra*, se estableció un algoritmo en el que se relaciona, por UM, la cantidad de establecimientos y su distribución en los diferentes Tipos de Peligrosidad, los cuales se comportan como elementos de ponderación.

Los ponderadores correspondientes a los diferentes Tipos de Peligrosidad están representados por: 1 = Peligrosidad Muy Alta y 0,1 Peligrosidad Muy Baja, es decir, que se necesitarían 10 establecimientos²¹ de Peligrosidad Muy Baja para igualar la Muy Alta y de esta manera se establecieron los valores intermedios.

A continuación se presenta el algoritmo utilizado para determinar la Peligrosidad Total por Unidad de Manejo (PTum) y el modo en que debe interpretarse²².

Algoritmo n°3. Peligrosidad Total por Unidad de Manejo

$$PT\ UM = N^{\circ}MA * 1 + N^{\circ}A * 0,9 + N^{\circ}M * 0,6 + N^{\circ}B * 0,3 + N^{\circ}MB * 0,1$$

Donde:

PT UM = Peligrosidad Total del efluente por Unidad de Manejo (Capacidad de dañar en conjunto)

N°MA = cantidad de establecimientos que presentan peligrosidad Muy Alta (MA)

N°A = cantidad de establecimientos que presentan peligrosidad Alta (A)

N°M = cantidad de establecimientos que presentan peligrosidad Media (M)

N°B = cantidad de establecimientos que presentan peligrosidad Baja (B)

N°MB = cantidad de establecimientos que presentan peligrosidad Muy Baja (MB)

20 Datos a establecer tras futuros estudios de efluentes.

21 Para la determinación de la cantidad de establecimientos de peligrosidad Muy Baja, que equivalen en cuanto a dificultad de gestión y efectos ambientales a un establecimiento de peligrosidad Muy Alta, es necesario llevar a cabo estudios más profundos; sin embargo se tomó un valor lo más representativo posible, lo mismo para valores intermedios para poner a prueba el modelo planteado.

22 Para la elaboración de este algoritmo se contó con el asesoramiento del Lic. en Cs. Económicas Juan Martín Guerra.

Se establecieron intervalos de valores porcentuales proporcionales para asignar el tipo de PT UM alcanzado por el total de establecimientos que integran cada UM. Los Rangos y Tipos de PT UM se presentan en la tabla 10.

Tabla 10. Rangos y Tipos de Peligrosidad Total por UM considerados.

Valor (%)	Tipo de PT UM
0	sin establecimientos / sin peligrosidad
1 a 20	Muy Baja
21 a 40	Baja
41 a 60	Media
61 a 80	Alta
81 a 100	Muy Alta

En la tabla 11 se consignan los resultados obtenidos a partir de la aplicación del algoritmo para determinar la PT UM a los datos obtenidos durante el cálculo de la Peligrosidad por establecimiento.

Tabla 11. Peligrosidad Total por Unidad de Manejo²³.

Unidad de Manejo	Muy Baja	Baja	Media	Alta	Muy Alta	Total de establecimientos por UM	Ranking relativo	Ranking relativo %	Peligrosidad total por UM
Norte Alto Verde	1	41	31	55	0	128	80.5	100	Muy Alta
Sur Alto Verde	0	25	16	68	0	109	78.3	97	Muy Alta
Chimbabas	0	30	21	26	0	77	45	56	Media
Montecaseros	0	15	38	9	0	62	35.4	44	Media
San Isidro	0	25	23	13	0	61	33	41	Baja
Directas	0	13	14	14	0	41	24.9	31	Baja
Tunuyán Inferior 8	1	6	19	2	0	28	15.1	19	Muy Baja
Constitución	3	11	16	0	0	30	13.2	16	Muy Baja
Reducción	0	3	19	0	0	22	12.3	15	Muy Baja
Sauce	1	7	10	0	0	18	8.2	10	Muy Baja
Dormida	0	7	3	3	0	13	6.6	8	Muy Baja
La Paz-Nva. California 2	0	6	2	4	0	12	6.6	8	Muy Baja
Tunuyán Inferior 7	0	2	7	1	0	10	5.7	7	Muy Baja
Tunuyán Inferior 2	0	2	7	0	0	9	4.8	6	Muy Baja
Santa Rosa	0	3	1	3	0	7	4.2	6	Muy Baja
La Paz-Nva. California 1	0	4	1	2	0	7	3.6	4	Muy Baja
Chacabuco	0	6	1	0	0	7	2.4	3	Muy Baja
Cruz Bodega	1	4	1	0	0	6	1.9	2	Muy Baja
Auxiliar	0	1	2	0	0	3	1.5	2	Muy Baja
Tunuyán Inferior 4	0	0	2	0	0	2	1.2	1	Muy Baja
Nueva Gil	0	0	2	0	0	2	1.2	1	Muy Baja
Tunuyán Inferior 5	0	1	1	0	0	2	0.9	1	Muy Baja
Tunuyán Inferior 3	0	1	1	0	0	2	0.9	1	Muy Baja
Godoy 1	0	3	0	0	0	3	0.9	1	Muy Baja
Los Otoyanes	0	0	1	0	0	1	0.6	1	Muy Baja
Ovalle	0	0	1	0	0	1	0.6	1	Muy Baja
Total de establecimientos por tipo de peligrosidad	7	216	240	200	0	663			

Del análisis de la tabla surge un ordenamiento de UM de acuerdo con la peligrosidad de dañar en conjunto (PT UM) que tienen los establecimientos que la integran, es decir, el mayor Peligro lo presenta la UM Norte Alto Verde (100 %) en la cuenca del río Tunuyán Inferior. Sur Alto Verde, sin embargo, presenta una capacidad de dañar

²³ Cuando la Peligrosidad Total de la UM "no existe" indica que no se censaron ni registraron actividades industriales o de otros establecimientos, por lo tanto, no se reflejan en la tabla.

similar (97 %). Le sigue en orden de importancia relativa la UM Chimbas, la cual tiene aproximadamente la mitad de PT UM que la que presenta Norte Alto Verde y Sur Alto Verde. Del mismo modo se pueden interpretar los resultados de las demás UM.

En conclusión, estos resultados son producto de la comparación entre la PT UM máxima alcanzada por las UM, que representa el máximo valor de Peligrosidad alcanzado por los establecimientos y sus respectivas peligrosidades en el momento actual. Esto implica que, si entran en actividad o se dan de baja establecimientos en el futuro, el máximo alcanzado a partir de la nueva incorporación o baja va a hacer que el 100 % (valor de la PT UM máxima actual) varíe y, con esto, la importancia relativa de las distintas PT UM en cuanto a la capacidad de dañar en conjunto.

Otro dato que se infiere del análisis de la tabla anterior es que al momento de trabajar sobre la peligrosidad se obtiene un ranking de prioridades de gestión de establecimientos y, por lo tanto, de efluentes.

3. Prioridad de Manejo del Riesgo por UM

3.1. Concepto y determinación de clases de riesgo de contaminación del recurso hídrico²⁴

La apreciación más lógica para la definición de las clases de riesgo de contaminación del agua es conceptualizarlo como la interacción entre dos factores semiindependientes:

- 3.1.1. El Tipo de Peligrosidad del efluente por Unidad de Manejo (PT UM) que es, será o podrá ser aplicado al recurso hídrico como resultado de la actividad humana.
- 3.1.2. La Vulnerabilidad (V) natural a contaminación del recurso hídrico presentada por la Unidad de Manejo.

Por lo tanto:

$$\text{CLASE DE RIESGO} = f(\text{PT UM}; \text{V UM})$$

«Adoptando este esquema podemos tener alta vulnerabilidad pero no riesgo de contaminación, debido a la ausencia de una carga contaminante, y viceversa. Ambos son perfectamente consistentes en la práctica. Aún más, la carga contaminante puede ser controlada o modificada, pero no así totalmente la Vulnerabilidad de la Unidad de Manejo» (12).

A partir del enunciado anterior, se combinan los diferentes Tipos de Vulnerabilidad de la UM y de Peligrosidad Total del efluente por UM (PT UM) en una matriz de interacción y ordenación teniendo en cuenta dónde hay mayor posibilidad de que se manifieste un efecto no deseado (contaminación del recurso hídrico) en un tiempo determinado.

²⁴ La elaboración de las clases de riesgo se realizó en conjunto con la Ing. María Cecilia Regairaz.

Luego del análisis de las combinaciones se procedió a determinar las clases de riesgo homogéneas teniendo en cuenta las características presentadas por cada combinación. Las clases de riesgo resultantes son: Muy Baja, Baja, Media, Alta y Muy Alta y se presentan en la tabla 12.

Tabla 12. Combinación de Vulnerabilidad de la UM y Peligrosidad Total del efluente por UM.

Vulnerabilidad de la UM	Peligrosidad Total del efluente por Unidad de Manejo				
	Muy Baja = MB	Baja = B	Media = M	Alta = A	Muy Alta = MA
Muy Baja = MB	MB MB (25)	MB B (20)	MB M (15)	MB A (10)	MB MA (5)
Baja = B	B MB (24)	B B (19)	B M (14)	B A (9)	B MA (4)
Media = M	M MB (23)	M B (18)	M M (13)	M A (8)	M MA (3)
Alta = A	A MB (22)	A B (17)	A M (12)	A A (7)	A MA (2)
Muy Alta = MA	MA MB (21)	MA B (16)	MA M (11)	MA A (6)	MA MA (1)

(...) Número de combinación no indica clase ni prioridad de manejo del riesgo. Ej.: combinación 12 pertenece a Clase de Riesgo Alto, combinación 8 a Medio y combinación 13 a Baja.

Clases de Riesgo:

Muy Bajo = blanco (recuadro superior izquierdo)

Bajo = gris 5 %

Medio = gris 10 %

Alto = gris 25 %

Muy Alto = gris 40 % (recuadro inferior derecho)

Los aspectos tenidos en cuenta para elaborar las clases de riesgo se exponen en la tabla 13.

Tabla 13. Clases de riesgo y prioridades de manejo del riesgo por UM.

Clase de Riesgo	Vulnerab. por UM	Peligr. Total por UM	N° de combinación	Prioridad Manejo Riesgo (PMR)	Características de la Clase de Riesgo
MUY ALTO	MA	MA	1	1.A	Vulnerabilidad y Peligrosidad ambas altas o muy altas
	MA	A	6	1.B	
	A	MA	2	1.C	
	A	A	7	1.D	
ALTO (*)	MA	M	11	2.A	Vulnerabilidad de Unidad de Manejo (*) altas o muy altas ↓↓↓ es escasamente modificable (*)
	MA	B	16	2.B	
	MA	MB	21	2.C	
	A	M	12	2.D	
	A	B	17	2.E	
	A	MB	22	2.F	
MEDIO (**)	M	MA	3	3.A	Peligrosidad de efluentes (**) altas o muy altas ↓↓↓ controlable y/o modificable (**)
	B	MA	4	3.B	
	MB	MA	5	3.C	
	M	A	8	3.D	
	B	A	9	3.E	
BAJO	MB	A	10	3.F	(excluidas de otras categorías) ningún parámetro es alto o muy alto, al menos uno de los parámetros es medio
	M	M	13	4.A	
	M	B	18	4.B	
	M	MB	23	4.C	
	B	M	14	4.D	
MUY BAJO	MB	M	15	4.E	Vulnerabilidad y Peligrosidad ambas bajas o muy bajas
	B	B	19	5.A	
	B	MB	24	5.B	
	MB	B	20	5.C	
	MB	MB	25	5.D	

3.2. Determinación de Prioridades de Manejo del Riesgo

A partir del análisis de las interacciones Vulnerabilidad por Unidad de Manejo con Peligrosidad Total por UM surgen las Clases de Riesgo y de su ordenamiento interno, las diferentes Prioridades de Manejo del Riesgo (PMR). Esto está indicando que dentro de una misma Clase de Riesgo pueden existir UM con mayor o menor prioridad, dadas por el tipo de combinación al momento de establecer medidas de control ambiental y, de esta manera, de manejar el riesgo. El índice «Prioridad de manejo del riesgo de contaminación del recurso hídrico» (PMR) jerarquiza las Unidades de Manejo de la cuenca del Tunuyán Inferior en cuanto a la necesidad o urgencia de establecer medidas de gestión ambiental de la contaminación industrial y de otros establecimientos que pudiesen generar efluentes que afecten la calidad del recurso hídrico para los diferentes usos²⁵ (riego, industrial, consumo humano, recreación, otros).

A partir de la priorización de situaciones de riesgo se pueden establecer potencialidades y restricciones en cuanto al uso del suelo y del recurso hídrico de cada UM. En consecuencia, esta herramienta es una guía para establecer el ordenamiento territorial de la cuenca. En la tabla 14 se presentan las clases de riesgo y las prioridades de manejo del riesgo de contaminación del recurso hídrico por Unidad de Manejo para la cuenca del río Tunuyán Inferior.

Tabla 14. Clases de riesgo y prioridades de manejo del riesgo por UM.

Unidad de Manejo	Tipo de Vulnerabilidad	Peligrosidad Total del efluente	N° de combinación	Clase de riesgo	Prioridad de manejo del riesgo
Godoy 1	Alta	Muy Baja	22	Alto	2.F
Chacabuco	Alta	Muy Baja	22	Alto	2.F
Cruz Bodega	Alta	Muy Baja	22	Alto	2.F
Reducción	Alta	Muy Baja	22	Alto	2.F
Auxiliar	Alta	Muy Baja	22	Alto	2.F
Ovalle	Alta	Muy Baja	22	Alto	2.F
Sauce	Alta	Muy Baja	22	Alto	2.F
Constitución	Media	Muy Baja	22	Alto	2.F
Norte Alto Verde	Media	Muy Alta	3	Medio	3.A
Sur Alto Verde	Baja	Muy Alta	4	Medio	3.B
Chimbas	Media	Media	13	Bajo	4.A
Montecaseros	Media	Media	13	Bajo	4.A
Directas	Media	Baja	18	Bajo	4.B
San Isidro	Baja	Baja	19	Muy Bajo	5.A
Dormida	Baja	Muy Baja	24	Muy Bajo	5.B
Santa Rosa	Baja	Muy Baja	24	Muy Bajo	5.B
La Paz-Nva. California 2	Baja	Muy Baja	24	Muy Bajo	5.B
Los Otuyanés	Baja	Muy Baja	24	Muy Bajo	5.B
Nuevo Gil	Baja	Muy Baja	24	Muy Bajo	5.B
Tunuyán Inferior 7	Muy Baja	Muy Baja	25	Muy Bajo	5.D
La Paz-Nva. California 1	Muy Baja	Muy Baja	25	Muy Bajo	5.D
Tunuyán Inferior 8	Muy Baja	Muy Baja	25	Muy Bajo	5.D
Tunuyán Inferior 4	Muy Baja	Muy Baja	25	Muy Bajo	5.D
Tunuyán Inferior 2	Muy Baja	Muy Baja	25	Muy Bajo	5.D
Tunuyán Inferior 5	Muy Baja	Muy Baja	25	Muy Bajo	5.D
Tunuyán Inferior 3	Muy Baja	Muy Baja	25	Muy Bajo	5.D
Godoy 2	Baja	No hay	Ninguno	No existe	No existe
Tunuyán Inferior 1	Baja	No hay	Ninguno	No existe	No existe
Norte	Baja	No hay	Ninguno	No existe	No existe
Tunuyán Inferior 6	Baja	No hay	Ninguno	No existe	No existe
Enríquez	Media	No hay	Ninguno	No existe	No existe

Nótese, por ejemplo, que Godoy 1 requiere gestión de efluentes con mayor urgencia que Tunuyán Inferior 3.

25 Si bien el concepto de calidad del recurso hídrico en la provincia de Mendoza aún está orientado al uso antrópico del recurso, debería complementarse con el de calidad para sustentar ecosistemas biológicos, lo que muy bien podría incorporarse al método aquí desarrollado.

Se presentan a continuación los mapas de Vulnerabilidad, Peligrosidad y Clases de Riesgo por UM del oasis irrigado. (Modificaciones del DGI) (6).

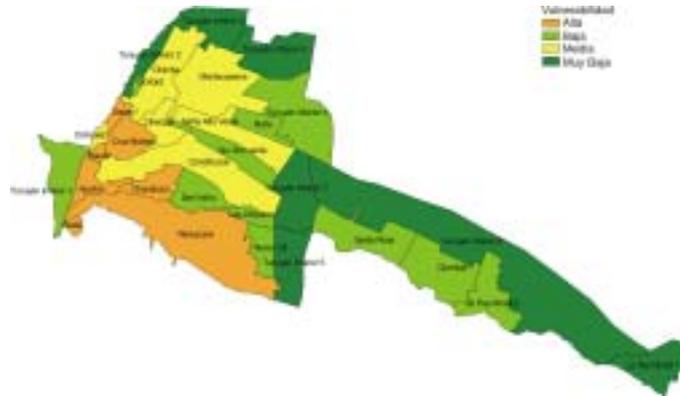


Figura 1. Vulnerabilidad por Unidad de Manejo - Río Tunuyán Inferior



Figura 2. Peligrosidad por Unidad de Manejo - Río Tunuyán Inferior



Figura 3. Clases de Riesgo por Unidad de Manejo - Río Tunuyán Inferior

DISCUSIÓN

Los Tipos de Vulnerabilidad más críticos están asociados a la presencia de acuífero libre, áreas de mayor isopermeabilidad de la cuenca (31 a 50 m/día), profundidad del nivel acuífero de 0 a 1 metro, agua superficial como fuente predominante de abastecimiento (canales, desagües, río, etc.) y buenas clases de suelos (1 y 2) según su aptitud para riego.

Los efluentes del Grupo Dos (Tipo A, B, C y D), la disposición final en red cloacal y el tiempo de aplicación del efluente anual, se asocian a los Tipos de Peligrosidad más críticos (Alto y Medio) existentes en el oasis del río Tunuyán Inferior. El caudal vertido no presenta proporción de participación diferente en los distintos Tipos de Peligrosidad.

La asociación rubro-peligrosidad del efluente no siempre es coincidente. Esto se debe a que establecimientos que realizan una misma actividad presentan distintos Tipos de Peligrosidad. Esta situación se aplica también a las variables tamaño y localización de los establecimientos generadores de efluentes.

La Clase de Riesgo «Alto» se presenta en las UM Ovale, Reducción, Chacabuco, Auxiliar, Sauce, Cruz Bodega, Constitución y Godoy 1. Esta clase tiene 95 establecimientos (14 % del total) de los cuales 24 (25 %) presentan efluentes del Grupo Dos. Si bien no es un número elevado de establecimientos y la calidad de sus efluentes pertenece a la categoría Grupo Uno y Grupo Dos (sólo tipo A), están en sectores ubicados sobre el acuífero libre.

La Clase de Riesgo «Medio» se presenta en las UM de Norte Alto Verde y Sur Alto Verde. Comprende 237 de los 663 de la cuenca (35,7 % del total) de los cuales 157 (66 % de establecimientos de estas dos UM) generan efluentes del Grupo Dos, especialmente del Tipo D.

La Clase de Riesgo «Bajo» está representada por las UM Chimbas, Montecaseros y Directas. Posee 180 establecimientos (27 % del total a nivel de cuenca) de los cuales 56 (31 % del total de estas tres UM) generan efluentes del Grupo Dos.

La Clase de Riesgo «Muy Bajo» está compuesta por las UM San Isidro, Los Otoyanes, Nuevo Gil, Santa Rosa, Dormida, La Paz-Nueva California 1 y 2 y Tunuyán Inferior 2, 3, 4, 5, 7 y 8. Están constituidas por 275 establecimientos de los 663 a nivel de cuenca (41 %) de los cuales 35 (12,7 % de los 275 establecimientos) generan efluentes del Grupo Dos.

A partir de la aplicación del método expuesto en este trabajo y de la interpretación de los resultados obtenidos, el decisor tendrá en sus manos una herramienta que le permitirá diferenciar entre Gestión Ambiental a nivel de cuenca y Prioridades de Manejo del riesgo de contaminación del recurso hídrico por Unidad de Manejo.

Los resultados surgidos de la aplicación del método han permitido realizar una serie de recomendaciones, como aquellas dirigidas a la gestión ambiental a nivel de cuenca, considerando particularmente las aplicables a:

- a. zonas de acuífero libre, abanico aluvial y de conexión intercuenca (por paleocanales y por isohipsas con orientación hacia la cuenca del río Mendoza);
- b. zonas de acuífero confinado y niveles freáticos cercanos a la superficie;
- c. en general, en toda la cuenca.

A su vez, se presentan recomendaciones a nivel de la gestión ambiental de PMR por Unidad de Manejo. Como complemento de las anteriormente mencionadas, se presentan recomendaciones generales relacionadas con la gestión ambiental de la cuenca del Río Tunuyán Inferior, extraídas de estudios previos realizados en el área.

Gestión ambiental a nivel de cuenca

Se establecerán las medidas de control ambiental comunes a las distintas PMR surgidas del análisis de los atributos de Vulnerabilidad y Peligrosidad a nivel de cuenca para las diferentes Clases de Riesgo.

Se presentan a continuación puntos básicos a tener en cuenta al momento de aplicar las medidas de control del riesgo en la cuenca del Tunuyán Inferior, derivados del análisis de los resultados del método desarrollado. Se debe hacer notar que las medidas de control presentadas están orientadas tanto a trabajar sobre la vulnerabilidad como sobre la peligrosidad pudiendo, a su vez, ser acompañadas por otros tipos de medidas de manejo del riesgo, a criterio del decisor.

- a. Zonas de acuífero libre (zona de recarga), abanico aluvial y de conexión intercuenca (por paleocanales y por isohipsas con orientación hacia la cuenca del río Mendoza).
 - Prohibir la realización de la disposición final «inyección» y «pozo absorbente» en aquellas Unidades de Manejo situadas en área de acuífero libre y donde la isopermeabilidad sea de 51 a 80 m/día o mayor.
 - Prohibir la instalación de nuevos establecimientos cuyos efluentes pertenezcan al Grupo Dos, especialmente los de tipo B y D.
 - Aumentar la frecuencia de control (inspecciones y toma de muestras de calidad del efluente) en los establecimientos existentes.
 - Exigir del uso de tratamientos de efluentes que eliminen contaminantes prioritarios en aquellos establecimientos preexistentes que no viertan a cloaca.
 - Establecer cupos para establecimientos cuyos efluentes sean del Grupo Dos tipos B, C y D que viertan a cloaca, para evitar que en los establecimientos depuradores aumenten las concentraciones de determinados contaminantes indeseables y para implementar tipos de disposición más compatibles (vuelco de efluentes previo tratamiento al cauce, reciclado u otros).
 - Prohibir vertidos con elevado contenido de Nitrógeno, los que pueden transformarse en nitratos y alcanzar los acuíferos.

- b. Zonas de acuífero confinado y niveles freáticos cercanos a la superficie.
- Mantener y abrir nuevas trazas de desagües y drenajes en aquellos lugares donde esta red haya sido eliminada o donde se considere conveniente para evitar el ascenso de la freática y, por ende, la contaminación por contacto agua-suelo.
 - Impermeabilizar canales de riego para eliminar la infiltración en cauces y de esta manera evitar el ascenso de la freática en zonas ubicadas aguas abajo del punto de infiltración.
 - Aumentar la eficiencia en la aplicación del riego a nivel intrafinca, para disminuir niveles freáticos.
 - Cegar pozos abandonados y controlar la calidad del agua subterránea extraída, para evitar la comunicación entre niveles acuíferos y, por ende, de las sustancias contaminantes que pudiesen contener.
 - Controlar el caudal extraído para evitar sobreexplotación y, por ende, la comunicación entre el agua de diferentes acuíferos.
 - Intensificar el control del nivel freático debido al riesgo de licuefacción de suelos.
 - Impermeabilizar reservorios de agua y de canales.
- c. En general, en toda la cuenca.
- Aumentar progresivamente el valor de multas y apercibimientos y, al mismo tiempo, aumentar los incentivos en relación con el cumplimiento de los estándares de calidad exigidos.
 - Prohibir vertidos Grupo Dos tipo A con elevado contenido de Sodio en canales de riego que abastezcan propiedades cuyos suelos sean de clase 1 y 2, para evitar la dispersión de coloides y la posible alteración de la estructura de los suelos.
 - Prohibir la instalación de plantas de tratamiento de efluentes, especialmente del grupo Dos, en las cercanías de ríos, arroyos y cauces temporarios. Esta medida prevé el riesgo de crecientes, especialmente durante los años Niño, y el riesgo aluvional de determinadas UM (por ejemplo, las UM comprendidas sobre la margen izquierda del canal Independencia, parte del Canal Constitución -oeste del oasis- y margen derecha del canal Reducción -sur del oasis-).
 - Aumentar la frecuencia de inspecciones y controles de calidad de vertidos en establecimientos cuyos efluentes sean del Grupo Dos.
 - Exigir tratamiento de efluentes antes del vertido para disminuir su peligrosidad. Actualmente se exige, en este caso, intensificar el control.

- Estimular el reúso de efluentes industriales y cloacales tratados para riego agrícola²⁶ en aquellos cultivos que no presenten efectos contraproducentes²⁷.
- No mezclar efluentes cloacales con efluentes industriales. Los últimos sólo podrían utilizarse en Área de Cultivos Restringidos Especiales (ACRE)²⁸.
- Estimular, económicamente o a través de incentivos de otro tipo, la inversión en tecnologías de tratamiento de efluentes, de re-uso de efluentes, reciclado en proceso y otros.
- Declarar Alerta Meteorológica durante años Niño²⁹ de marcada intensidad (clase F, +F y MF) y prolongada duración, intensificando las medidas anteriormente presentadas, especialmente en zonas donde la freática está comprendida entre 2 y 0 m de profundidad.

En Mendoza, localizada al E de la Cordillera de los Andes, la fases más importantes de «El Niño» producen un marcado incremento de precipitaciones líquidas y nivales (invierno) y aumento de temperaturas (verano). Ambos procesos favorecen una fuerte recarga del sistema hidrológico, que posteriormente afecta no sólo las aguas subterráneas (notorios ascensos de los niveles freáticos) sino también las aguas superficiales (mayores crecientes). En resumen, aumenta la Vulnerabilidad a la contaminación hídrica tanto en forma directa (isohipsas mínimas absolutas más cercanas a superficie) como indirecta (aumenta la posibilidad de licuefacción de suelos en caso de sismos).

A este listado se le suman las recomendaciones marcadas por el Plan Director de la Cuenca del Río Tunuyán elaborado por el DGI (7):

- Establecimiento de programas de capacitación de industriales en temas tales como producción limpia, implementación de Sistemas de Gestión Ambiental (SGA), Responsabilidad Social Empresaria³⁰, entre otros.
- Valoración económica del recurso hídrico de la cuenca.
- Estímulo empresarial a través de una certificadora estatal sugerida, que otorgue certificados de calidad hídrica, etiquetado ecológico, beneficios económicos, convenios de gestión de permiso de vertidos/reúso, y otros.

26 Según la Organización Panamericana de la Salud (OPS) (13), se ha demostrado que la infiltración es un método efectivo de tratamiento de las aguas residuales. El suelo y la zona no saturada son capaces de remover algunos, pero no todos los contaminantes del agua. En términos generales, cuanto más lenta y menos continua es la infiltración de las aguas residuales habría una mejor calidad de la recarga del agua subterránea, sin importar la calidad del agua residual inicial, a menos que ésta sea altamente salina.

27 En Mendoza existen ejemplos de reúso de efluentes industriales en forestales como eucaliptos, álamos I-214, cipreses y en viñedos.

28 ACRE: zona delimitada donde se dispone el agua residual cloacal tratada especialmente para eliminar patógenos para riego de cultivos industriales, que no se destinen a consumo en crudo o que crecen a una distancia considerable del suelo. Se exigen métodos de riego que minimicen el contacto del agua con la superficie y con los cultivos (surcos, goteo, etc.) y medidas de higiene y seguridad laboral.

29 Fase cálida del evento ENOS o ENSO, corriente cálida que aparece en el sector ecuatorial y ocasiona importantes variaciones climáticas, (evento ENOS o ENSO = "El Niño" Southern Oscillation). Los años Niño son aperiódicos, es decir, no se pueden predecir. Clasificación de la Intensidad de los años Niño según Díaz and Markgraf (9), donde se considera como Moderado (M), Fuerte (F), Más que Fuerte (+F) y Muy fuerte (MF).

30 Norma SA 8000.

Riesgo de contaminación del recurso hídrico por efluentes

- Asistencia técnica para industriales.
- Tratamiento de la información generada durante las inspecciones a establecimientos, es decir, que los datos sean analizados y sistematizados, para ayudar a la mejora de la gestión ambiental.
- Beneficios diferenciales de acuerdo con un ranking de establecimientos generadores de vertidos dado por el desempeño ambiental alcanzado.

En cuanto a la utilidad del método aquí desarrollado para favorecer la implementación de Políticas Ambientales a nivel de cuenca, las mismas deberían estar orientadas a poner especial atención en la Vulnerabilidad, de manera de prevenir, corregir o mitigar las posibles consecuencias ante eventos no deseados de contaminación del recurso hídrico y a reducir la peligrosidad de los efluentes, especialmente los atributos: tipo de efluente y disposición final.

Gestión ambiental de PMR por Unidad de Manejo

A nivel de Unidad de Manejo, las políticas generadas a nivel de cuenca deben ser la base de la gestión ambiental, pero a este nivel de especificidad, la operatividad debe ser fijada de acuerdo con la Clase de Riesgo, la PMR presentada por la UM y la variación de los valores presentados por cada atributo de peligrosidad de los establecimientos involucrados por UM (ranking de establecimientos). Posteriormente, deberán analizarse las particularidades de cada UM comprendidas por cada PMR y establecer nuevamente una jerarquización de actuaciones.

Esto permitirá establecer un orden de prioridades y medidas de control específicas dentro de cada UM.

Se debe tener en cuenta que de esta manera se está trabajando sobre las defensas activas (peligrosidad), lo que está dirigido a eliminar el riesgo ya que la fuente desaparece. El modo de alcanzar los estándares de calidad del agua se deja a criterio del gestor y del decisor.

Para la gestión ambiental dentro de cada UM y para generar políticas de ordenamiento territorial resulta interesante analizar cuáles de los rubros son los más críticos y, de esta manera, poder realizar recomendaciones específicas por sector.

En la interpretación de las Clases de Riesgo y sus PMR a nivel de UM, es conveniente analizar otros tipos de datos que, si bien no son parte de los atributos que caracterizan el riesgo, pueden tener relevancia al momento de establecer medidas de gestión ambiental. Se hace referencia especialmente al tamaño de los establecimientos y a su localización, ya sea en zona urbana o en zona rural o suburbana.

Se debe hacer notar que el tamaño de los establecimientos no siempre está asociado al Tipo de Peligrosidad, ya que un establecimiento puede tener un tamaño menor y generar caudales y efluentes de peligrosidad mayor a lo esperado. Sin em-

bargo, ello no deja de ser un dato válido a tener en cuenta al momento de establecer recomendaciones para disminuir la peligrosidad de los efluentes generados por cada establecimiento. Por ejemplo: no se puede exigir un tratamiento de efluentes en piletas o reúso agrícola cuando no existe el espacio suficiente para su operación. En este caso, la recomendación debería estar orientada a la extracción en camiones atmosféricos, pero con mayor exigencia en cuanto a calidad del efluente y seguimiento de la disposición final por parte del operador del efluente extraído. Lo mismo se puede aplicar de acuerdo con la localización del establecimiento.

El nivel de exigencia a los establecimientos en cuanto a calidad de vertido y la frecuencia del control por parte del ente regulador, entonces, debe ser de aplicación diferencial de acuerdo con el índice PMR presentado por UM, la peligrosidad del efluente a nivel de establecimiento y la localización.

CONCLUSIONES

La herramienta de gestión propuesta genera un diagnóstico rápido, jerarquiza las acciones de manejo del riesgo de acuerdo con su urgencia, involucra aspectos sociales difícilmente cuantificables (como la importancia relativa de los factores ambientales de la cuenca), es actualizable a medida que se aumenta el conocimiento de los diferentes atributos involucrados en la determinación de la Vulnerabilidad y la Peligrosidad y, por último, los resultados de su aplicación han representado adecuadamente la realidad del oasis de la cuenca del río Tunuyán Inferior en donde fue aplicada.

Los productos de este método (bases de datos actualizables y cartografía) pueden darle un enfoque dinámico al control de efluentes actualmente establecido en la provincia de Mendoza, ya que sistematiza información, genera diagnósticos y simula actuaciones de gestión.

Por otro lado, puede orientar al momento de aplicar apercibimientos o sanciones que impliquen erogación de dinero por parte del generador de efluentes dando fundamentos técnicos a la aplicación de un determinado monto por parte del ente regulador. Asimismo, puede incentivar el otorgamiento de estímulos económicos a aquellos que apliquen medidas de gestión ambiental a sus efluentes, además de colaborar en la sistematización de la información recolectada por la administración.

El método desarrollado podría estimular la elaboración de índices de desempeño ambiental a partir de los datos recabados durante las inspecciones a los establecimientos. Actualmente, en Mendoza, el análisis y tratamiento de la información recabada durante las inspecciones es insuficiente, situación que se corregiría a partir del uso de la herramienta de gestión aquí propuesta.

La dificultad que atentaría contra la aplicación de este método es la información base, ya sea de caracterización ambiental como de datos acerca de los establecimientos generadores de efluentes.

En el área de estudio, los posibles establecimientos generadores de efluentes presentes en la base de datos del CNE'94³¹ (1) localizados en la cuenca del Tunuyán Inferior, superan en número a la base de datos del RUE actualizada al 2003, por lo que existe la posibilidad de no haber realizado el análisis de nuevos establecimientos generadores o, en su defecto, de haber magnificado la situación de riesgo ambiental de contaminación al tomar en cuenta un mayor número de establecimientos que actualmente podrían estar inactivos. Por otro lado, la información del RUE por establecimientos presenta vacíos. Por ejemplo, en algunos establecimientos no se indicaba el rubro al cual pertenecía cada establecimiento. Para la cuenca del río Tunuyán el 11,5 %³² de los establecimientos no se pudo identificar según su rubro. Ante esta situación se debió acudir a la implementación de supuestos³³, lo que refleja medianamente la realidad, ya que se toman los datos más comunes, pero no así las particularidades que se necesitarán en el estadio de Gestión Ambiental a nivel de PMR por UM.

No todos los establecimientos inscriptos en el RUE cuentan con análisis de efluentes lo que obstaculiza la asignación del índice «Tipo de Efluente»; este aspecto fue sobrellevado con la bibliografía elaborada por organismos internacionales y la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable, Ministerio de Salud y Ambiente de la Nación, en cuanto a caracterización de efluentes de distintos rubros industriales.

En cuanto a la información de base para determinar la Vulnerabilidad por Unidad de Manejo, se tomó la globalidad de la UM ante la inexistencia de estudios más detallados, por lo tanto, no pudo ser precisa en cuanto a variabilidad dentro de una misma UM.

Como recomendación durante la elaboración de las tablas tabuladas³⁴ para definir los índices de V UM y P, se sugiere la conformación de un Panel de Expertos con consultas a la población que hace uso de los recursos de la cuenca analizada al momento de la selección de atributos de Vulnerabilidad y Peligrosidad, así como para la asignación de puntajes e importancia relativa de cada uno. El mismo criterio debería aplicarse para la definición de intervalos de clasificación de tipos de vulnerabilidad, peligrosidad por establecimiento y por UM³⁵. Aquellas UM y/o establecimientos que presenten valores de vulnerabilidad o peligrosidad cercanos a los límites de los intervalos, deberían someterse a un análisis particular para su clasificación dentro de un intervalo.

La herramienta de Gestión del Riesgo de Contaminación del Recurso Hídrico, aquí desarrollada, es una primera aproximación a un modelo de gestión ambiental diferente a lo que hasta ahora se ha implementado en la provincia de Mendoza, por lo tanto, requiere de mayor profundización y contrastación con la realidad antes de su aplicación definitiva.

31 Datos recabados y sistematizados antes de la crisis económica Argentina del año 2001 en la cual cesó la actividad de numerosos establecimientos.

32 De un total de 663 establecimientos censados (CNE'94 (1) y RUE (14).

33 Tabla 8 (pág. 49).

34 Tabla 2 (pág. 40) y tabla 6 (pág. 46).

35 Tabla 3 (pág. 41), tabla 7 (pág. 49) y tabla 10 (pág. 52).

BIBLIOGRAFÍA

1. Censo Nacional Económico. 1994 (CNE'94). En: Unidad de SIG y Teledetección Departamento General de Irrigación; 2003: Base de datos de la consulta ambiental del río Tunuyán Inferior - Mapas de Contaminación; Proyecto PNUD/FAO/ARG/00/008, Mendoza. Argentina.
2. Conesa Fernández-Vítora, V. 1997. Instrumentos de la gestión ambiental en la empresa. Mundiprensa. Madrid. 541 p.
3. Departamento General de Irrigación (DGI). 1987. El suelo en las áreas bajo riego de la provincia de Mendoza. Plan Provincial de Drenaje. Publicación Técnica. 54 p.
4. _____ . 1996. Resolución 778. Mendoza. Argentina.
5. _____ . 2000. Resolución 627. Mendoza. Argentina.
6. _____ . 2002. Unidad de SIG y Teledetección. En: <http://192.168.10.40> Intranet, Proyecto PNUD/FAO/ARG/00/008
7. _____ . 2003. Plan Director de Ordenamiento de Recursos Hídricos - Anexo Oferta Hídrica Superficial. Proyecto PNUD/FAO/ARG/00/008. Mendoza. Argentina. 45 p.
8. _____ . 2004. Plan Director de Ordenamiento de Recursos Hídricos - Anexo Taller de Expertos de la cuenca del río Tunuyán. Proyecto PNUD/FAO/ARG/00/008. Mendoza. Argentina. 19 p.
9. Diaz, H. F. and Markgraf, V. 1992. El Niño: Historical and Paleoclimatic Aspects of the Southern Oscillation. Cambridge University. Great Britain. 476 p.
10. Ente Provincial de Agua y Saneamiento. 1996. Resolución 35. Mendoza. Argentina.
11. Fernández, N. 2004. Prioridades de manejo del riesgo de contaminación del recurso hídrico por efluentes en el oasis del río Tunuyán Inferior. Universidad de Congreso. Mendoza. Argentina. 217 p.
12. Foster, S. e Hirata, R. 1988. Determinación del riesgo de contaminación de aguas subterráneas: una metodología basada en datos existentes. <http://www.cepis.ops-oms.org/eswww/fulltext/repind46/riego/riego.html> (17/04/04).
13. Foster, S.; Gale, I. y Hespanhol, I. 1994. Impacto del uso y disposición de las aguas residuales en los acuíferos. <http://www.cepis.ops-oms.org/bvsaca/e/fulltext/impacto/impacto.pdf> (15/06/04).
14. Registro Único de Establecimientos (RUE). 2003. Base de datos del Registro Único de Establecimientos. Departamento General de Irrigación. Policía del Agua. Mendoza. Argentina.