

UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES

**DESARROLLO METODOLÓGICO
PARA EL ANÁLISIS DEL
RIESGO HÍDRICO POBLACIONAL HUMANO
EN CUENCAS PERIURBANAS**

**CASO DE ESTUDIO: ARROYO LAS CATONAS,
REGION METROPOLITANA DE BUENOS AIRES**

Tesis presentada para optar al título de Doctor
de la Universidad de Buenos Aires en el
Área Ciencias Biológicas

AUTORA: LIC. ANA CAROLINA HERRERO

DIRECTOR: DR. MIGUEL PEDRO AUGE

DIRECTORA ASISTENTE: LIC. MARÍA JOSEFA DI PACE

CONSEJERA DE ESTUDIOS: DRA. ANA INÉS MALVÁREZ

Lugar de trabajo: Universidad Nacional de General Sarmiento (UNGS).
Instituto del Conurbano, Área Ecología Urbana

TOMO I

Buenos Aires, 2006

**DESARROLLO METODOLÓGICO
PARA EL ANÁLISIS DEL
RIESGO HÍDRICO POBLACIONAL HUMANO
EN CUENCAS PERIURBANAS**

**CASO DE ESTUDIO: ARROYO LAS CATONAS,
REGIÓN METROPOLITANA DE BUENOS AIRES**

Jurado	Firma	Calificación
▪		
▪		
▪		

INDICE TOMO I

Resumen.....	9
Summary.....	10
Agradecimientos.....	11
Abreviaciones.....	14
Introducción.....	15
I. Hipótesis y objetivos.....	18
II. Consideraciones generales.....	19
III. Antecedentes de la investigación.....	24
III.1. Desastre, Riesgo Poblacional, Amenaza y Vulnerabilidad Social.....	24
III.2. Recurso hídrico en la Región Metropolitana de Buenos Aires (RMBA).....	27
III.2.a. Captación y uso del recurso agua.....	28
III.2.b. Recurso hídrico subterráneo.....	29
III.2.c. Inundaciones.....	31
III.2.d. Recurso hídrico superficial.....	33
IV. Área de estudio.....	34
IV.1. Aspectos socio-demográficos.....	34
IV.1.a. Localización, superficie, límites y conectividad.....	34
.....	34
IV.1.b. Demografía.....	34
IV.2. Aspectos físicos.....	34
IV.2.a. Clima.....	34
35	
IV.2.b. Morfología e hidrografía.....	36
IV.2.c. Geología y comportamiento hidrogeológico.....	38
IV.2.c.i. Estratigrafía.....	39
IV.2.c.ii. Historia geológica y lineamientos estructurales.....	45
IV.2.d. Edafología.....	47
IV.3. Configuración y estructura geográfica.....	49
IV.4. Aspectos socioeconómicos.....	50
V. Materiales, metodología y resultados.....	54
V. 1. Información base.....	54
V.1.a. Delimitación de cuenca y subcuencas.....	54
V.1.b. Digitalización de los cursos de agua.....	55
V.1.c. Clasificación de los usos de suelo.....	55
V.1.d. Homologación de radios censales a la unidad espacial “subcuenca”.....	57
V. 2. RECURSO HÍDRICO SUBTERRÁNEO.....	58
V.2.a. Indicadores de vulnerabilidad social en relación a la contaminación hídrica subterránea.....	58
V.2.a.i. Fuente de captación del recurso y vía de disposición de excretas.....	59
V.2.a.ii. Densidad poblacional.....	65
V.2.b. Vulnerabilidad social frente a la contaminación del recurso hídrico subterráneo, Cuenca Las Catonas.....	66
V.2.c. Indicadores de amenaza en relación a la contaminación hídrica subterránea.....	67
V.2.c.i. Hidrodinámica: Vulnerabilidad Intrínseca de los acuíferos Pampeano y Puelche.....	67
V.2.c.ii. Reservas.....	81
V.2.c.iii. Hidroquímica subterránea y vulnerabilidad específica de los acuíferos Pampeano y Puelche.....	82
V.2.d. Amenaza frente a la contaminación del recurso hídrico subterráneo, Cuenca Las Catonas.....	107
V.2.e. Riesgo poblacional frente a la contaminación hídrica subterránea, Cuenca Las Catonas.....	109
V.3. INUNDACIONES.....	111
V.3.a. Indicadores de vulnerabilidad social en relación al proceso de inundaciones.....	111
V.3.a.i. Densidad poblacional.....	111
V.3.a.ii. Necesidades Básicas Insatisfechas.....	111
V.3.b. Vulnerabilidad social frente a las inundaciones, Cuenca Las Catonas.....	112
V.3.c. Indicadores de amenaza en relación a las inundaciones.....	113
V.3.c.i. Climatología y Balance hídrico.....	113
V.3.c.ii. Conductividad hidráulica del suelo.....	119
V.3.c.iii. Topografía natural.....	121
V.3.c.iv. Topografía artificial: Antropobarreras.....	122
V.3.c.v. Cobertura edáfica impermeabilizada artificialmente.....	125
V.3.d. Amenaza frente a las inundaciones, Cuenca Las Catonas.....	126
V.3.e. Riesgo poblacional frente a las inundaciones, Cuenca Las Catonas.....	127

V.4. RECURSO HÍDRICO SUPERFICIAL.....	128
V.4.a. Indicadores de vulnerabilidad social frente a la contaminación hídrica superficial.....	128
V.4.b. Indicadores de amenaza en relación a la contaminación del recurso hídrico superficial.....	128
V.4.b.i. Establecimientos industriales	128
V.4.b.ii. Estudio fisicoquímico de los cursos de agua superficial.....	132
V.4.c. Riesgo poblacional frente a la contaminación del recurso hídrico superficial, Cuenca Las Catonas	143
VI. Conclusiones y recomendaciones.....	145
VI.1. Acerca de los resultados obtenidos.....	145
Servicio de infraestructura de agua potable y saneamiento.....	145
Recurso hídrico subterráneo.....	145
Inundaciones.....	151
Recurso hídrico superficial.....	152
Riesgo hídrico poblacional - Cuenca del Arroyo Las Catonas.....	153
VI.2. Acerca del desarrollo metodológico e innovaciones	154
VII. Discusión	159
VIII. Bibliografía.....	164

Índice de Tablas

Tabla 1. Dimensiones y conocimientos necesarios para el estudio de un evento de riesgo
Tabla 2. Consumo de agua en el Conurbano Bonaerense - Década del '90
Tabla 3. Secuencia hidrogeológica - Cuenca Las Catonas
Tabla 4. Captación del recurso agua
Tabla 5. Disposición de excretas
Tabla 6. Vulnerabilidad social por la fuente de captación del recurso agua
Tabla 7. Vulnerabilidad social por la vía de disposición de excretas
Tabla 8. Vulnerabilidad social por la densidad de población (hab/ha)
Tabla 9. Vulnerabilidad social por la contaminación del recurso hídrico subterráneo
Tabla 10. Cualificación de la vulnerabilidad. Método AVI
Tabla 11. Índices según el espesor de la ZNS
Tabla 12. Índices según la permeabilidad media vertical de la ZNS
Tabla 13. Matriz que conjuga los índices de e y Kv - ZNS
Tabla 14. Vulnerabilidad intrínseca del Acuífero Pampeano
Tabla 15. Grados de vulnerabilidad del acuífero semiconfinado según los valores de la Tv´
Tabla 16. Grados de vulnerabilidad del acuífero semiconfinado según relaciones de potenciales hidráulicos con el libre
Tabla 17. Potenciales hidráulicos - Acuíferos Pampeano y Puelche
Tabla 18. Niveles guía establecidos para el agua de consumo - Parámetros analizados en el agua subterránea
Tabla 19. Análisis químicos realizados en las muestras de agua subterránea
Tabla 20. Resumen de los resultados de los parámetros seleccionados
Tabla 21. Amenaza por nitratos - Acuífero Pampeano
Tabla 22. Amenaza por nitratos - Acuífero Puelche
Tabla 23. Amenaza por contaminación del agua subterránea - Acuífero Pampeano
Tabla 24. Amenaza por contaminación del agua subterránea - Acuífero Puelche
Tabla 25. Riesgo poblacional por contaminación del recurso hídrico - Acuífero Pampeano
Tabla 26. Riesgo poblacional por contaminación del recurso hídrico - Acuífero Puelche
Tabla 27. Vulnerabilidad social por condiciones de NBI
Tabla 28. Vulnerabilidad social frente a las inundaciones
Tabla 29. Balance hídrico edáfico. Thornthwaite y Mather (1957). Estación Agrometeorológica INTA Castelar - Periodo: 1970 - 2001
Tabla 30. Rangos determinados de permeabilidad hidráulica en suelos
Tabla 31. Rangos establecidos para la variable conductividad hidráulica del suelo
Tabla 32. Amenaza por topografía natural

- Tabla 33. Coeficiente de elevación - Antropobarreras
 Tabla 34. Amenaza por antropobarreras
 Tabla 35. Amenaza por cobertura edáfica impermeabilizada artificialmente
 Tabla 36. Amenaza dada por inundaciones
 Tabla 37. Establecimientos industriales según NCA
 Tabla 38. Rangos establecidos para la variable establecimientos industriales
 Tabla 39. Sitios de muestreo de calidad de agua superficial
 Tabla 40. Métodos empleados para el análisis de los parámetros fisicoquímicos de agua superficial y valores guía adoptados
 Tabla 41. Monitoreo del agua superficial. Análisis por subcuencas

Índice Gráficos

- Gráfico 1. Relación hidráulica natural entre acuíferos libres y semiconfinado
 Gráfico 2. Nivel de instrucción de la población mayor de 15 años - Partido de Moreno
 Gráfico 3. N° de casos acumulativos de diarrea registrados en el Municipio de Moreno. 2003 – 2004
 Gráfico 4. Calidad del agua superficial. Análisis por subcuencas
 Gráfico 5. Pozo encamisado y cementado

Índice Fotos

- Foto 1. Viviendas tipo donde se realizaron las mediciones freáticas
 Foto 2. Lugares tipo donde se realizaron las mediciones piezométricas
 Foto 3. Toma de muestras de suelo

Índice Ecuaciones

- Ecuación 1. Riesgo poblacional
 Ecuación 2. Densidad de drenaje
 Ecuación 3. Índice de compacidad
 Ecuación 4. Vulnerabilidad social por fuente de captación del recurso
 Ecuación 5. Vulnerabilidad social por vía de disposición de excretas
 Ecuación 6. Vulnerabilidad social por contaminación del recurso hídrico subterráneo
 Ecuación 7. Reserva efectiva del Acuífero Pampeano
 Ecuación 8. Reserva efectiva del Acuífero Puelche
 Ecuación 9. Reserva bajo confinamiento del Acuífero Puelche
 Ecuación 10. Reserva subterránea total
 Ecuación 11. Concentración de Nitratos Media (CNM) ponderada
 Ecuación 12. Amenaza por subcuenca dada por la concentración de nitratos
 Ecuación 13. Amenaza por subcuenca dada por la contaminación orgánica en acuíferos libres
 Ecuación 14. Ekv ponderado
 Ecuación 15. Vulnerabilidad social por inundaciones
 Ecuación 16. Índice de humedad
 Ecuación 17. Índice de aridez
 Ecuación 18. Índice hídrico
 Ecuación 19. Balance hídrico global en régimen permanente
 Ecuación 20. Balance hídrico subterráneo
 Ecuación 21. Ley de Darcy
 Ecuación 22. Índice topografía natural
 Ecuación 23. Índice antropobarreras
 Ecuación 24. Porcentaje de usos de suelo
 Ecuación 25. Amenaza por inundaciones
 Ecuación 26. Nivel de Complejidad Ambiental (NCA)
 Ecuación 27. Amenaza por industrias (NCA)

INDICE TOMO II

Índice Mapas

- Mapa 1. Extensión de los acuíferos Pampeano y Puelche
- Mapa 2. Cuencas Hídricas – AMBA
- Mapa 3. Cuencas Hídricas – RMBA
- Mapa 4. Asentamientos y villas miseria – AMBA
- Mapa 5. Establecimientos industriales – AMBA
- Mapa 6. Usos de suelo – RMBA
- Mapa 7. Ubicación Cuenca Las Catonas
- Mapa 8. Conectividad – Cuenca Las Catonas
- Mapa 9. Provincias hidrogeológicas de la Argentina
- Mapa 10. Radios censales – Cuenca Las Catonas
- Mapa 11. Crecimiento poblacional. Período 1991-2001
- Mapa 12. EPH - RMBA
- Mapa 13. NBI – RMBA
- Mapa 14. Infraestructura de saneamiento – AGBA S.A.
- Mapa 15. Viviendas sin instalación de agua corriente – Cuenca Las Catonas
- Mapa 16. Centros de asistencia primaria – Municipio de Moreno
- Mapa 17. Población sin cobertura de obra social – Cuenca Las Catonas
- Mapa 18. División por subcuencas – Cuenca Las Catonas
- Mapa 19. Mosaico de las fotos aéreas – Cuenca Las Catonas
- Mapa 20. Usos de suelo – Cuenca Las Catonas
- Mapa 21. Comparación intercensal de cobertura de bomba manual o en perforación somera – Cuenca Las Catonas
- Mapa 22. Comparación intercensal de cobertura de bomba motor en perforación profunda – Cuenca Las Catonas
- Mapa 23. Comparación intercensal de cobertura de red de agua – Cuenca Las Catonas
- Mapa 24. Acceso al agua mediante bomba manual o motor en perforación – Cuenca Las Catonas
- Mapa 25. Acceso al agua mediante bomba motor en perforación profunda – Cuenca Las Catonas
- Mapa 26. Acceso al agua mediante red– Cuenca Las Catonas
- Mapa 27. Disposición de excretas mediante pozo ciego u hoyo sin cámara séptica – Cuenca Las Catonas
- Mapa 28. Disposición de excretas mediante pozo ciego con cámara séptica – Cuenca Las Catonas
- Mapa 29. Disposición de excretas mediante red – Cuenca Las Catonas
- Mapa 30. Vulnerabilidad social: Acceso al recurso hídrico subterráneo – Cuenca Las Catonas
- Mapa 31. Vulnerabilidad social: Disposición de excretas – Cuenca Las Catonas
- Mapa 32. Densidad poblacional por subcuenca – Cuenca Las Catonas
- Mapa 33. Vulnerabilidad social: Densidad poblacional – Cuenca Las Catonas
- Mapa 34. VULNERABILIDAD SOCIAL: CONTAMINACIÓN DEL RECURSO HÍDRICO SUBTERRÁNEO – CUENCA LAS CATONAS
- Mapa 35. Distribución de pozos – Acuífero Pampeano y Puelche– Cuenca Las Catonas
- Mapa 36. Vulnerabilidad intrínseca del Acuífero Pampeano – Cuenca Las Catonas
- Mapa 37. Red de flujo – Acuífero Pampeano – Cuenca Las Catonas
- Mapa 38. Mapa residual – Cuenca Las Catonas
- Mapa 39. Red de flujo – Acuífero Puelche – Cuenca Las Catonas
- Mapa 39'. Pozos de monitoreo de calidad de agua subterránea – Acuíferos Pampeano y Puelche– Cuenca Las Catonas

Mapa 40. Conductividad – Acuífero Pampeano – Cuenca Las Catonas
 Mapa 41. Conductividad – Acuífero Puelche – Cuenca Las Catonas
 Mapa 42. Sodio – Acuífero Pampeano – Cuenca Las Catonas
 Mapa 43. Sodio – Acuífero Puelche – Cuenca Las Catonas
 Mapa 44. Cloruros – Acuífero Pampeano – Cuenca Las Catonas
 Mapa 45. Cloruros – Acuífero Puelche – Cuenca Las Catonas
 Mapa 46. Sulfatos – Acuífero Pampeano – Cuenca Las Catonas
 Mapa 47. Sulfatos – Acuífero Puelche – Cuenca Las Catonas
 Mapa 48. Nitratos – Acuífero Pampeano – Cuenca Las Catonas
 Mapa 49. Nitratos – Acuífero Puelche – Cuenca Las Catonas
 Mapa 50. Cromo total – Acuífero Pampeano – Cuenca Las Catonas
 Mapa 51. Cromo total – Acuífero Puelche – Cuenca Las Catonas
 Mapa 52. Cobre – Acuífero Pampeano – Cuenca Las Catonas
 Mapa 53. Cobre – Acuífero Puelche – Cuenca Las Catonas
 Mapa 54. Plomo – Acuífero Pampeano – Cuenca Las Catonas
 Mapa 55. Plomo – Acuífero Puelche – Cuenca Las Catonas
 Mapa 56. Zinc – Acuífero Pampeano – Cuenca Las Catonas
 Mapa 57. Zinc – Acuífero Puelche – Cuenca Las Catonas
 Mapa 58. Amenaza: Nitratos – Acuífero Pampeano – Cuenca Las Catonas
 Mapa 59. Amenaza: Nitratos – Acuífero Puelche – Cuenca Las Catonas
 Mapa 60. *Escherichia coli* – Acuífero Pampeano – Cuenca Las Catonas
 Mapa 61. Amenaza: *Escherichia coli* – Acuífero Pampeano– Cuenca Las Catonas
 Mapa 62. Amenaza: Ekv ponderado – Acuífero Pampeano– Cuenca Las Catonas
 Mapa 63. AMENAZA: CONTAMINACIÓN DEL RECURSO HÍDRICO SUBTERRÁNEO – ACUÍFERO PAMPEANO – CUENCA LAS CATONAS
 Mapa 64. AMENAZA: CONTAMINACIÓN DEL RECURSO HÍDRICO SUBTERRÁNEO – ACUÍFERO PUELICHE – CUENCA LAS CATONAS
 Mapa 65. RIESGO POBLACIONAL: CONTAMINACIÓN DEL RECURSO HÍDRICO SUBTERRÁNEO – ACUÍFERO PAMPEANO – CUENCA LAS CATONAS
 Mapa 66. RIESGO POBLACIONAL: CONTAMINACIÓN DEL RECURSO HÍDRICO SUBTERRÁNEO – ACUÍFERO PUELICHE – CUENCA LAS CATONAS
 Mapa 67. Vulnerabilidad social: Necesidades Básicas Insatisfechas – Cuenca Las Catonas
 Mapa 68. VULNERABILIDAD SOCIAL: INUNDACIONES – CUENCA LAS CATONAS
 Mapa 69. Amenaza: Permeabilidad hidráulica del suelo – Cuenca Las Catonas
 Mapa 70. Curvas de nivel – Cuenca Las Catonas
 Mapa 71. Modelo Digital de Elevación – Cuenca Las Catonas
 Mapa 72. Elevación – Cuenca Las Catonas
 Mapa 73. Agrupamiento según pendiente y elevación – Cuenca Las Catonas
 Mapa 74. Amenaza: Topografía natural – Cuenca Las Catonas
 Mapa 75. Elevación y orientación de las antropobarreras – Cuenca Las Catonas
 Mapa 76. Amenaza: Antropobarreras – Cuenca Las Catonas
 Mapa 77. Usos de suelo agrupados según densidad de población – Cuenca Las Catonas
 Mapa 78. Amenaza: Impermeabilización del suelo – Cuenca Las Catonas
 Mapa 79. AMENAZA: INUNDACIONES – CUENCA LAS CATONAS
 Mapa 80. RIESGO POBLACIONAL: INUNDACIONES – CUENCA LAS CATONAS
 Mapa 81. Obras hidráulicas proyectadas, Municipio de Moreno – Cuenca Las Catonas
 Mapa 82. Establecimientos industriales según NCA
 Mapa 83. Amenaza: Establecimientos industriales – Cuenca Las Catonas
 Mapa 84. Sitios de muestreo de agua superficial – Cuenca Las Catonas

Índice Figuras

- Figura 1. Precipitaciones medias mensuales (1970 - 2001) - Estación Agrometeorológica INTA Castelar
- Figura 2. Temperaturas medias mensuales (1970 - 2001) - Estación Agrometeorológica INTA Castelar
- Figura 3. Precipitaciones vs. Temperaturas medias mensuales (1970 - 2001) - Estación Agrometeorológica INTA Castelar
- Figura 4. Perfil geológico en Estación de Cargas Haedo
- Figura 5. Perfil geológico en Campo de Mayo
- Figura 6. Perfil geológico en San Isidro
- Figura 7. Perfil geológico en Open Door
- Figura 8. Perfil geológico en Aeropuerto de Ezeiza
- Figura 9. Electroperfilaje en Sol de Agosto
- Figura 10. Electroperfilaje en Francisco Álvarez
- Figura 11. Electroperfilaje en José C. Paz
- Figura 12. Electroperfilaje en Moreno
- Figura 13. Planilla tipo - Censo sitios de muestreo de agua subterránea
- Figura 14. Diagrama de Piper - Acuífero Pampeano
- Figura 15. Diagrama de Piper (continuación I) - Acuífero Pampeano
- Figura 16. Diagrama de Piper (continuación II) - Acuífero Pampeano
- Figura 17. Diagrama de Piper - Acuífero Puelche
- Figura 18. Diagrama de Piper (continuación) - Acuífero Puelche
- Figura 19. Relaciones de medias mensuales entre: Evtp Ajustada, precipitaciones y temperaturas
- Figura 20. Balance hídrico edáfico (1970 - 2001) - Cuenca Las Catonas

DESARROLLO METODOLÓGICO PARA EL ANÁLISIS DEL RIESGO HÍDRICO POBLACIONAL HUMANO EN CUENCAS PERIURBANAS

CASO DE ESTUDIO: ARROYO LAS CATONAS,
REGIÓN METROPOLITANA DE BUENOS AIRES

Resumen

La realización de investigaciones interdisciplinarias constituye, desde hace unos años, una preocupación dominante. La búsqueda del trabajo conjunto de distintas experiencias disciplinares surge sin duda, como una reacción contra la excesiva especialización que prevalece en el desarrollo de la ciencia contemporánea. Así es como esta tesis doctoral se desarrolla desde la Ecología Urbana, disciplina nueva que surge aplicando conceptos y teorías de la ecología tradicional, que está delineando aún su cuerpo teórico y que se ocupa del estudio de las interrelaciones entre los habitantes de una aglomeración urbana y sus múltiples interacciones con el “ambiente” (social, físico, económico, institucional, cultural).

Considerando entonces a las cuencas como elementos sintéticos del funcionamiento del “ambiente”, en este trabajo se desarrolla una metodología que optimiza el manejo del recurso hídrico en cuencas periurbanas, mediante la determinación de subcuencas con diferentes grados de riesgo poblacional humano en relación a los procesos inundación y contaminación del agua subterránea y superficial. Se considera el riesgo hídrico poblacional como la interacción de la amenaza (evento que azota a la población), con el de vulnerabilidad social (sectores sociales y afectación).

Mediante la creación y aplicación de indicadores de estado se jerarquizan subcuencas, estableciendo órdenes de importancia según los diferentes grados de riesgo poblacional, que es donde convergen los niveles más elevados de amenaza y vulnerabilidad social. El producto final es la determinación de subcuencas con diferentes grados de riesgo hídrico al que está expuesta la población como la expresión cartográfica de las relaciones ambientales existentes.

La jerarquización permite priorizar, esto es establecer un orden temporal o cronológico de ejecución de planes, proyectos y actividades. Esta metodología determina horizontes espaciales y temporales para la definición de aquellas subcuencas donde es necesario planear las acciones de intervención. Los resultados obtenidos, además de aportar el conocimiento de los procesos estudiados, constituyen una base importante para optimizar la toma de decisiones en relación con la planificación y gestión del territorio, así como una herramienta útil para la formulación de políticas con base territorial en el ámbito de los gobiernos involucrados en la cuenca.

El estudio se desarrolla en la Cuenca del Arroyo Las Catonas, localizada en la Región Metropolitana de Buenos Aires.

Palabras clave: ecología, ecología urbana, cuencas hidrográficas e hidrológicas, riesgo hídrico poblacional humano, amenaza, vulnerabilidad social, contaminación del recurso hídrico, inundaciones, hidrogeología, indicadores de estado, ordenamiento territorial, Geomática (Sistemas de Información Geográfica y Teledetección).

METHODOLOGICAL DEVELOPMENT FOR THE ANALYSIS OF HUMAN POPULATION HYDRIC RISK IN SUBURBAN BASINS

CASE STUDY: LAS CATONAS STREAM,
BUENOS AIRES METROPOLITAN AREA

Summary

In recent years, interdisciplinary research has been a predominant concern. Undoubtedly, the search for a joint work between different disciplines arises as a reaction to the extreme specialization that prevails in the development of contemporary science. This is how this doctoral thesis was developed in the framework of a new area called Urban Ecology. This area, which arises from the application of theories and concepts of traditional ecology, is still in the process of defining its theoretical framework. It studies the relationships between the inhabitants of urban areas and their multiple interactions with the so called "environment" (i.e. the social, physical, economical, institutional and cultural aspects of human activity).

Considering basins as synthetic elements of the "environmental performance", a method that optimizes the management of hydric resources in suburban basins is presented. The method consists of finding the sub-basins with different levels of population risk as far as flooding and pollution of the underground and superficial water are concerned. Population hydric risk is defined as the interaction between threat (i.e. events that lash the population) and social vulnerability (i.e. social class influence).

With the creation and application of state indicators sub-basins are ranked by their different levels of population risk, where the highest levels of threat and social vulnerability are found simultaneously. The final product consists of a definition of sub-basins with different levels of hydric risk to which the population is exposed, such as those found in the cartographic expression of existing environmental relationships.

Ranking allows prioritization, which means laying out activities and implementations of plans and projects. This methodology determines spatial and temporal horizons that can be used to define the sub-basins where intervention actions are necessary. Not only do the results obtained contribute to the understanding of the processes under study, but also constitute an important basis for the optimization of the decision making process with respect to territorial planning and management. They also constitute a useful tool for policy layout by the governments concerned with the basin.

The study is carried out in the Basin of the Las Catonas Stream, located in the Buenos Aires Metropolitan Area.

Keywords: ecology, urban ecology, hydrographic and hydrological basins, human population hydric risk, threat, social vulnerability, pollution of hydric resources, flood, hydrogeology, state indicators, territorial ranking, Geomatics (Geographic Information Systems and Remote Sensing).

Agradecimientos

Quisiera dedicar este trabajo a todas aquellas personas e instituciones que de alguna u otra manera acompañaron, enseñaron y colaboraron, permitiéndome realizar esta tesis.

En primer lugar agradecer profundamente a los directores, Miguel y María, por haberme guiado de manera continua con profesionalismo y cariño.

A la Dra. Ana Inés Malvárez, consejera de estudios, por su apoyo en la elección del plan de estudios.

A toda mi familia que siempre estuvo a mi lado, acompañándome y alentándome, especialmente a Gustavo, mis padres, abuela Celia, hermana y sobrinos.

Un especial agradecimiento a Leonardo quien colaboró intensa y continuamente en el desarrollo de este trabajo. También a Rubén por su constante apoyo; y en este sentido también a Irene, Laura, Marina, George y Eric. Afortunadamente con todos ellos he trabajado en los diferentes ítems de la tesis en una atmósfera de continua alegría.

También a todos mis amigos y compañeros que sencillamente me acompañaron durante este proceso: del resto del Área a Croje, Andrés, Pancho, Sandra, Daniel y Pame; a la Pandi's (Carola, Karla, Lidi, Diego, David, Juanito y Jalal); a Chinga's (Sabrina, Gati, Laura, Sil, Lauchi, Maga, Echi, Lachi y Fer); a Marianita, Vale, Paulita, Clarisa, Juancito, Ale López, Gastón, Juli y Dani.

A todos los investigadores del Área Química Ambiental (UNGS), especialmente a la Dra. Anita Zalts y Dra. Diana Vullo, por su constante apoyo en lo referente a los análisis microbiológicos y químicos de las muestras de agua.

A Griselda (UNGS), Mirta y Adrián (Ftad. Geología - UBA) por sus colaboraciones en los muestreos.

A Ana Fazio (Ftad. Geología - UBA) y Cecilia Magnavacca (CNEA) por las mediciones de algunos parámetros químicos de las muestras de agua.

A Gabriel Parodi (ITC - Holanda), por su valiosa enseñanza informática en la generación de la información base.

A la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE) por ceder las imágenes satelitales.

Al Instituto de Desarrollo Urbano Ambiental y Regional (IDUAR - Moreno), especialmente a Liliana y Gastón, por su colaboración en la obtención de información secundaria.

A Adrián Gayoso y Patricio Breglia del Hospital de Moreno, por los datos epidemiológicos brindados.

A los ingenieros Irurtia y Di Bella del INTA – Castelar, por sus aportes en lo referente al muestreo de suelo y datos climatológicos, respectivamente.

A la Lic. Cristina Dapeña, quien me instruyó en el manejo de los softwares de mapeo de calidad de agua.

A todas las personas que me permitieron realizar el relevamiento de datos de campo en sus viviendas, viveros, hospitales y establecimientos educativos.

Al Dr. Luis Romano, quien me inició, en el año 1997, en el estudio del recurso hídrico, permitiéndome desarrollar los primeros trabajos relacionados con esta temática.

A los miembros del jurado por dedicar su tiempo a la lectura crítica de este trabajo.

A la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica por el subsidio otorgado, destacando la ardua colaboración de Fernando Beas (UNGS) en la administración del proyecto.

A la UNGS, en especial al ICO por haberme permitido tomar los meses de licencia, indispensables para la última etapa del desarrollo de la tesis.

Al Estado Argentino, especialmente a la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales (UBA), por haberme brindado la oportunidad de realizar no sólo la carrera de grado sino la de doctorado, con un costo económico reducido. Aquí quiero agradecer especialmente a Ana Andrea Bondia por todas las gestiones realizadas ante la Comisión y Subcomisión de Doctorado.

Y por último, no quiero dejar de mencionar y agradecer a mi adorado Twingo, que me acompañó siempre satisfactoriamente en todas las actividades enmarcadas dentro de este trabajo.

Así entonces, se los dedico a todos Ustedes ... muchas pero muchas gracias!!!



A Gustavo

Abreviaciones

- **A°:** Arroyo
- **AGBA:** Aguas del Gran Buenos Aires
- **AMBA:** Área Metropolitana de Buenos Aires
- **CCA:** Código Alimentario Argentino
- **CEQG:** Canadian Environmental Quality Guidelines
- **CONAE:** Comisión Nacional de Actividades Espaciales
- **CNEA:** Comisión Nacional de Energía Atómica
- **DHHS:** Departamento de Salud y Servicios Humanos (EEUU)
- **DQO:** Demanda Química de Oxígeno
- **EPA:** Environmental Protection Agency (EEUU)
- **EPH:** Encuesta Permanente de Hogares
- **GBA4:** Gran Buenos Aires nivel 4
- **GPS:** Global Positioning System
- **IARC:** Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (EEUU)
- **ICO:** Instituto del Conurbano
- **IDUAR:** Instituto de Desarrollo Urbano Ambiental y Regional
- **IGM:** Instituto Geográfico Militar
- **INDEC:** Instituto Nacional de Estadística y Censos
- **IPMH:** Índice de Privación Material de los Hogares
- **NBI:** Necesidades Básicas Insatisfechas
- **NE:** Noreste
- **OMS:** Organización Mundial de la Salud
- **OSN:** Obras Sanitarias de la Nación
- **ppb:** partes por billón, equivalente a $\mu\text{g/l}$ (microgramo por litro)
- **ppm:** partes por millón, equivalente a mg/l (miligramo por litro)
- **RMBA:** Región Metropolitana de Buenos Aires
- **SIG:** Sistemas de Información Geográfica
- **SRHN:** Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación
- **UNGS:** Universidad Nacional de General Sarmiento

Introducción

Una **cuenca hidrográfica**, concebida como el territorio delimitado por los escurrimientos superficiales que convergen a un mismo cauce, es la unidad espacial básica indispensable para estudiar la función ambiental de los recursos naturales y su dinámica, con fines de conservación y manejo. De esta manera, una cuenca es un emergente sintético importante del funcionamiento del ambiente por varias razones: porque responde a uno de los recursos básicos esenciales; es la entrada al sistema de mayor trascendencia para la habitabilidad, la competitividad y la sustentabilidad de los ecosistemas rurales y urbanos; porque la problemática ambiental derivada del estado del recurso, sus formas de uso y los procesos ecológicos que imperan, impactan en la vida cotidiana de los habitantes y en sus actividades productivas, y porque el acceso inequitativo al recurso, tanto en cantidad como en calidad, compromete la salud y reproducción social de la población y afecta sus condiciones de vida, produciendo situaciones de vulnerabilidad social y riesgo.

Las cuencas hidrográficas son en definitiva un caso particular de territorio cuya peculiaridad radica en que no recibe, en régimen natural, transferencias superficiales, y en ambientes llanos y húmedos como el estudiado, tampoco lo hacen subterráneamente y de existir suelen ser poco importantes. Esta última consideración puede modificarse en el caso del aporte generado por la distorsión en la red de flujo subterránea debido a intensas explotaciones de los acuíferos. Esta independencia hídrica con respecto a los territorios vecinos es lo que hace a las cuencas hidrográficas muy adecuadas como unidades territoriales para la gestión de los recursos hídricos.

Las cuencas hidrográficas pueden o no coincidir con las cuencas hidrogeológicas. Para la zona de estudio, como se verá más adelante, la coincidencia en las delimitaciones son similares, justamente por tratarse de un ambiente llano con exceso hídrico.

Por lo expuesto, la autora considera relevante la formulación de estudios ambientales sobre la base de diferentes variables asociadas al recurso hídrico, adoptando a la cuenca hidrológica como la unidad físico-territorial básica de planeamiento para los estudios y proyectos referentes al recurso hídrico. Así es como en este trabajo de investigación se desarrolla una metodología para evaluar el riesgo hídrico al que está expuesta la población humana (en adelante población) establecida en la Cuenca del Arroyo Las Catonas (en adelante Cuenca Las Catonas), como consecuencia del alto grado de interacción entre los principales procesos ecológicos actuantes: inundación y contaminación. La elección de esta cuenca se fundamenta en que tiene características que la hacen sumamente interesante para este tipo de análisis, y es que es una cuenca periurbana, es decir se localiza en el ecotono (zona de transición entre el campo y la ciudad). De esta manera, posee características propias de la ciudad y del campo, pero también características únicas, resultado de las actividades que se desarrollan en ambos ambientes.

La ciudad comparte las propiedades de un **ecosistema** de acuerdo con la definición de Odum (1971): *Cualquier unidad que incluya todos los organismos (la comunidad) en una determinada área, interactuando con el ambiente físico, así como los flujos de energía dirigidos a soportar una estructura trófica, diversidad biótica, y ciclos de la materia (intercambio de materia entre las partes vivientes y no vivientes) dentro del sistema, es un sistema ecológico o ecosistema, pero depende de las estructuras y procesos de los “ecosistemas clásicos”*. Así, por ejemplo el agua utilizada en una ciudad depende de los procesos que se dan en los sistemas naturales a lo largo de la cuenca. Las tensiones que se dan entre los procesos sociales y ecológicos son las que determinan el tipo de relación de la ciudad con los sistemas naturales.

Asimismo se considera al **ambiente** como un sistema complejo formado por la interacción entre el medio biofísico, la organización social, la economía, la producción, la tecnología y la gestión institucional (todos estos subsistemas) (Di Pace *et al*, 2005). De esta manera se aborda el estudio del riesgo hídrico de manera interdisciplinaria, pero siempre sobre la base ecológica.

El **área de estudio**, la Cuenca Las Catonas, se ubica en el NE de la Provincia de Buenos Aires, conformando una subcuenca del sistema fluvial del Río Reconquista. Su superficie es de 146 km². Comprende casi la totalidad del Municipio de Moreno y en menor medida los de Gral. Rodríguez, Pilar, José C. Paz y San Miguel.

La Encuesta Permanente de Hogares (EPH), que evalúa las características socioeconómicas poblacionales, ha categorizado a los partidos que contienen a la cuenca, como GBA4 (Gran Buenos Aires nivel 4) por presentar los valores más altos en cuanto a la desocupación (más del 20%), tasa de demandantes de empleo (45,7%), tasa de subempleo horario (15,8%), asalariados sin jubilación (45%) y el menor porcentaje de asalariados con calificación profesional (1,9%) (Instituto Nacional de Estadística y Censos -INDEC-, 1997). A su vez, el partido de Moreno, al cual corresponde prácticamente toda la cuenca, es uno de los municipios que presenta el porcentaje de población con Necesidades Básicas Insatisfechas (NBI¹) más elevado de la Región Metropolitana de Buenos Aires (RMBA).

La autora define en este trabajo al **riesgo hídrico poblacional humano (o riesgo poblacional humano en relación al recurso hídrico)**² como al evento (inundación por desborde de ríos, precipitación intensa y anegamiento, deterioro en la calidad y cantidad del agua superficial y subterránea, etc.), que tenga como elemento eje al recurso agua y que impacte directa o indirectamente sobre algún/os o todos los aspectos que conforman el bienestar íntegro de la población (salud, bienes materiales, economía, actividades productivas y culturales). Por lo tanto, para poder cuantificar ese riesgo es imprescindible estudiar las **amenazas** (eventos que azotan a la población), como así también las **vulnerabilidades sociales** (sectores y afectación). Es importante

¹ NBI: el NBI mide la “pobreza estructural”. Este índice se construye en base a datos infraestructurales que indican la imposibilidad de satisfacer ciertas necesidades básicas de vivienda, condiciones sanitarias y hacinamiento; a ellos se agrega el nivel educativo del jefe, relacionado con la cantidad de personas existentes en el hogar por miembro ocupado.

² En adelante riesgo hídrico poblacional o riesgo poblacional en relación al recurso hídrico.

aclarar que se entiende como vulnerabilidad a la debilidad frente a las amenazas (ausencia de la capacidad de resistencia), y no a la incapacidad de recuperación después de la ocurrencia de un desastre (falta de resiliencia, capacidad de persistencia). De esta forma, tal como lo plantean Maskery (1989) y Wilches-Chaux (1998), se considera el riesgo poblacional como la interacción de los componentes de vulnerabilidad social por amenaza (Ecuación 1):

Ecuación 1. Riesgo poblacional

$$\text{RIESGO POBLACIONAL (RP)} = \text{Vulnerabilidad Social (VS)} \times \text{Amenaza (A)}$$

Mediante la creación y aplicación de diversos **indicadores de estado**, se jerarquizan subcuencas, es decir se establece un orden de importancia según los diferentes grados de riesgo poblacional, que es donde convergen los niveles más elevados de amenaza y vulnerabilidad social. El producto final, la determinación de subcuencas con diferentes grados de riesgo hídrico al que está expuesta la población, es la expresión cartográfica de las relaciones ambientales existentes.

Esta jerarquización permite realizar una priorización, esto es establecer un orden temporal o cronológico de ejecución de planes, proyectos y actividades. Por ello en este trabajo se determinan horizontes espaciales y temporales para la definición de aquellas subcuencas donde es necesario planear acciones de intervención. Los resultados obtenidos constituyen una base importante para optimizar la toma de decisiones en relación con la planificación y gestión del territorio, así como una herramienta útil para la formulación de políticas con base territorial en el ámbito de los gobiernos municipales involucrados en la Cuenca Las Catonas.

Se espera el vínculo que existe con los investigadores del Instituto de Desarrollo Urbano Ambiental y Regional (IDUAR) del Municipio de Moreno, facilite la discusión e implementación de las alternativas propuestas en este trabajo para lograr una gestión integrada de la cuenca estudiada.

I. Hipótesis y objetivos

La **hipótesis general** de esta investigación es que los procesos relacionados con el recurso hídrico (inundaciones y contaminación), afectan de manera diferente a las poblaciones establecidas en cuencas hidrológicas, debido a una inadecuada gestión del recurso hídrico.

Las **hipótesis específicas** son las siguientes:

Ho₁: El grado de vulnerabilidad social frente a la contaminación de los acuíferos (única fuente de abastecimiento de agua en la Cuenca Las Catonas), depende de las formas de acceso al recurso, de las vías de disposición de excretas y de la densidad poblacional;

Ho₂: Los grupos sociales más vulnerables por inundaciones son los que padecen, de manera parcial o total, las siguientes situaciones: localización en sectores topográficamente deprimidos, baja permeabilidad hidráulica del suelo, presencia de diversos tipos de antropobarreras, cobertura edáfica impermeabilizada artificialmente;

Ho₃: La población afectada por inundaciones, se ve altamente damnificada por contacto con el recurso hídrico superficial contaminado.

El **objetivo general** del trabajo es desarrollar una metodología que posibilite el análisis y la determinación de subcuencas con diferentes índices de riesgo poblacional en relación al recurso hídrico, mediante el análisis de las amenazas y vulnerabilidades sociales involucradas para cada proceso ecológico estudiado (contaminación e inundaciones).

Con el desarrollo de esta metodología se espera contribuir en la optimización de la planificación y gestión del recurso agua con el fin de mitigar, o en el mejor de los casos prevenir, las problemáticas sociales vinculadas a dichos procesos.

Los **objetivos específicos** son:

O.e.1: Cuantificación de subcuencas según el riesgo poblacional dado por contaminación del recurso hídrico subterráneo;

O.e.2: Cuantificación de subcuencas según el riesgo poblacional dado por inundaciones;

O.e.3: Cuantificación de subcuencas según el riesgo poblacional dado por contaminación del recurso hídrico superficial.

Dichas cuantificaciones se obtienen mediante la elaboración de un sistema de indicadores de referencia, los que permiten determinar los diferentes índices de riesgo hídrico al que está expuesta la población establecida en la Cuenca Las Catonas.

II. Consideraciones generales

Desde hace varias décadas, estamos presenciando la formación de ciudades que combinan las peores consecuencias de una expansión urbana incontrolada, caracterizada por el deterioro del ambiente, la falta de conservación y manutención de los servicios y obras de infraestructura básicos, como así también la ausencia del cumplimiento de leyes. Sumado a ello se puede agregar la falta de una política y programas de desarrollo científico y tecnológico orientados a conocer y prevenir los factores naturales y humanos que desencadenan un desastre.

Argentina es un país con una gran riqueza natural y tiene la ventaja de disponer de valiosos recursos naturales para su desarrollo. Sin embargo, por carencia de una adecuada gestión ambiental estos se deterioran día a día. En particular, la falta de una adecuada gestión en el manejo y aprovechamiento del agua ha provocado la contaminación de los cursos superficiales y de las reservas subterráneas, además de generar un mayor impacto de las inundaciones sobre la población.

La disponibilidad de agua en calidad y cantidad adecuada es, entre los recursos naturales, el principal indicador que afecta al Desarrollo Humano³. La Asamblea General de la Organización de las Naciones Unidas, en su Resolución N° 47/193, declaró en el año 1992 al 22 de marzo como el Día Mundial del Agua, con el propósito de promover entre el público la conciencia de la importante contribución que representa el aprovechamiento de los recursos hídricos al bienestar social, así como su protección y conservación.

La *cuena hidrológica* es el entorno básico indispensable para estudiar la función ambiental del recurso hídrico y su dinámica con fines de conservación y manejo sustentable, por lo que la adopción de esta unidad físico-territorial permite la planificación y gestión del recurso hídrico con una visión totalmente integral.

Los contaminantes presentes en el agua, además de poder convertirla en inapropiada para su reutilización, tienen efectos directos sobre la salud humana y la vida acuática, pudiendo también afectar a la economía a partir de la degradación del recurso. De esta manera es importante entender cómo funciona el ciclo del agua y las medidas necesarias para proteger el recurso hídrico. Su aprovechamiento y gestión sustentable, trascienden el plano de lo meramente técnico, es ya un problema político, social, económico y cultural. Se trata de garantizar el acceso del agua a todos, oportunamente en la cantidad y calidad necesaria para garantizar la vida (Fernández Cirelli, 1998). Estas pocas consideraciones bastan para entrever que la problemática del agua se presenta como uno de los problemas de mayor complejidad e importancia de nuestro tiempo.

³ El Desarrollo Humano significa el desarrollo de las personas, su acceso a la educación, salud y otros servicios sociales, desarrollo para la gente, que incluye oportunidades para todos, y desarrollo por la gente, pues requiere enfoques participativos (PNUD, 1999).

Se adopta la definición de contaminación hídrica propuesta por Margalef (1983): “es un concepto más bien legal y se refiere a lo que hace que el agua se considere inapropiada para determinado uso. Es que algo se encuentra fuera de lugar y como consecuencia de esto, las propiedades y concentraciones del fluido son diferentes de lo habitual”. Por lo tanto, un cuerpo de agua se considera contaminado dependiendo del uso que se haga del mismo. Debido a ello es que existen diferentes “estándares de calidad del agua”, fijados según las normativas que establecen los niveles guía para diferentes actividades. En este trabajo se evalúa la calidad del agua subterránea con fines de consumo humano con tratamiento convencional; mientras que para evaluar lo concerniente al recurso hídrico superficial se analizan los niveles guía para los usos: actividad recreativa con contacto directo y para protección de la vida acuática. El marco legal de análisis es:

- A nivel nacional:
 - . **Ley 18.284 Código Alimentario Argentino (1994)** fija límites de calidad para el agua potable de uso domiciliario, sea proveniente de suministro público, de pozo o de otra fuente.
 - . **Calidad de Agua Ambiente de la Subsecretaría de Recursos Hídricos (2005)** establece niveles guía de agua para diferentes usos propuestos para la Cuenca del Plata.
 - . **Ley 24.051 (1993)** fija límites sobre el régimen de desechos peligrosos.
- A nivel provincial:
 - . **Ley 11.820 (1996)** establece el marco regulatorio para la prestación de los servicios públicos de provisión de agua potable y desagües cloacales en la Provincia de Buenos Aires, y las condiciones particulares de regulación para la concesión de los servicios sanitarios de jurisdicción provincial.
- A nivel internacional:
 - . **Canadian Environmental Quality Guidelines (2002)**, es ley nacional, recomienda límites para diferentes parámetros de calidad del ambiente (agua, aire, suelo, sedimentos).

Pero, no sólo los conflictos y tensiones por el agua se centran en el deterioro, sino también en la escasez. Frente a estos grandes problemas, es necesario orientar las políticas en materia de aguas hacia una gestión integrada del recurso hídrico, basada en el enfoque de *sustentabilidad hídrica*, entendiéndose ésta *como el uso del agua que sostiene la capacidad de la sociedad humana para mantenerse y crecer indefinidamente sin comprometer la integridad del ciclo hidrológico o los sistemas ecológicos que dependen de él* (Gleick et al, 1995); esto implica el cumplimiento simultáneo de las siguientes condiciones:

- satisfacer las necesidades de consumo humano y habitabilidad,
- satisfacer las necesidades para uso productivo y de servicios,
- satisfacer las condiciones de integridad de los ecosistemas acuáticos y los dependientes.

La ausencia o falta de adecuados sistemas de abastecimiento de agua y de eliminación de desechos líquidos urbanos e industriales, constituye una fuente importante de contaminación del recurso hídrico.

En las décadas recientes, gran parte de las naciones principalmente en vías de desarrollo, han experimentado un rápido crecimiento en sus zonas urbanas sin la correspondiente expansión en la infraestructura de saneamiento. El resultado de ello es que en todo centro urbano, desde las grandes ciudades y áreas metropolitanas hasta los centros regionales y los pequeños pueblos rurales, una gran proporción de la población vive en lugares con escasa o ausencia total de cobertura de red de agua y cloacas. Sumado a ello, en muchas áreas urbanas se producen procesos de sequías e inundaciones en diferentes estaciones vinculados fundamentalmente a desajustes o problemas entre la expansión urbana y el sistema de desagües⁴.

La carencia de inversiones en infraestructura y servicios puede deberse a diferentes causas: que las políticas socioeconómicas prioricen inversiones en otras necesidades; o debido al desvío escaso de recursos económicos hacia los gobiernos locales; o por el incremento de asentamientos ilegales (Hardoy y Satterthwaite, 1991).

En cuanto al abastecimiento de agua, en el mejor de los casos se cuenta con una cobertura de red de agua, por lo que el suministro de la misma estaría, en principio, garantizando agua potable (agua en condiciones biofísicoquímico óptimas para su consumo), siendo su captación a partir de aguas superficial o subterránea.

La importancia de la cobertura de la red de cloacas radica en que de esta manera, se evita la descarga directa de los desechos líquidos a cursos de agua superficial y el vertido en los pozos absorbentes que pueden deteriorar la calidad del agua subterránea.

En la Cuenca Las Catonas existen algunas viviendas que se abastecen a partir de redes de agua que captan del Acuífero Puelche. La red más importante es la que le compete a Aguas del Gran Buenos Aires (AGBA) S.A., quien debe velar por el cumplimiento de las normas de calidad. También existen otras redes autónomas de abastecimiento de agua. El resto de la población, que carece de agua de red, se abastece tanto para el consumo como para las actividades de riego e industrial, a partir de perforaciones individuales que captan tanto del Acuífero Pampeano (el más somero y más contaminado), como del Puelche (más protegido). Con referencia a la red de cloacas, no existe cobertura en toda la cuenca de estudio.

Los desechos industriales varían tanto en cantidad como en composición, siendo en general, el grado de contaminación mayor que el de los desagües cloacales. El tratamiento de este tipo de desechos es complejo, por lo tanto debe contarse con la colaboración de las industrias y además obligar a que cumplan con la legislación pertinente para llevar a cabo un control efectivo. Este tipo de efluentes líquidos, en su

⁴ Los sistemas de desagües constituyen una parte esencial de la infraestructura urbana, ya que la mayoría de los problemas de saneamiento de una ciudad provienen de fallas en el diseño o falta de mantenimiento de estos servicios.

mayoría de elevada toxicidad, son la causa más importante de la contaminación del recurso hídrico, debido a que generalmente la evacuación de los mismos es directamente a cursos de agua superficial o a pozos absorbentes con escaso o nulo tratamiento.

Tomando como base el Censo realizado por la Secretaría de Política Ambiental (SPA) en la Cuenca Las Catonas existen 42 establecimientos industriales diferenciados en tres categorías de acuerdo al impacto que tienen sobre el ambiente; esta clasificación se rige en base a la Ley 11.459 de la Provincia de Buenos Aires y su Decreto Reglamentario 1.741/96. En la Sección V.4.b.i. se detalla todo lo concerniente a las industrias de la Cuenca Las Catonas.

Cuando surge una ciudad, indefectiblemente se produce una transformación del sistema natural al urbano mediante la artificialización del ambiente. Es así, como este proceso conlleva cambios de magnitud e intensidad en factores preexistentes de base: la topografía, la traza y dinámica de la red de drenaje natural, las características edáficas y la estructura y dinámica de la biota. Si estas condiciones estructurales, así como los aspectos funcionales asociados, no son reconocidos, analizados y estudiados previamente, se pueden generar en el sistema urbano desajustes que potencien problemas ambientales. Las inundaciones urbanas son un ejemplo de procesos que reconocen esta génesis (Prudkin y De Pietri, 1999).

El desastre frente a las inundaciones se puede definir como una situación detonada por lluvias que superan la capacidad material de sectores de la población para absorber, amortiguar o evitar los efectos de este acontecimiento (produce un desbalance entre la demanda de acción y la capacidad para dar respuesta), y que por ende interrumpe la actividad socioeconómica de una comunidad y produce un cierto daño directo e indirecto (Herzer, 1990). El factor natural es muy claro: lluvia intensa; pero, los factores no naturales causan sorpresa y develan parte de la realidad urbana que permanecía oculta: poblaciones precarias, obras de infraestructura mal diseñadas o que han permanecido sin ningún mantenimiento por largos años, localizaciones inadecuadas, etc. Por lo tanto, tampoco para la problemática inundaciones, es posible disociar la ocurrencia del desastre de la presencia humana.

Un sistema inadecuado o la escasez de desagües en zonas urbanas, sea porque no cuentan con la cantidad o con la capacidad requerida de cañerías y drenajes, trae aparejado el problema de las inundaciones, originadas inicialmente por desbordes de los cauces de ríos, canales y arroyos.

Por otro lado, la construcción urbana impermeabiliza el suelo impidiendo la infiltración directa de la lluvia y su vez, otro efecto que surge como consecuencia del reemplazo de la cobertura vegetal por un material impermeable, es la disminución de la evapotranspiración por parte de la vegetación. Esta reducción de la infiltración provoca el incremento de la escorrentía superficial directa, tanto en caudal como en velocidad. De esta manera, lo que sucede es un retardo en los tiempos de eliminación de excedentes pluviales. Esto no sucedería si se establecieran canales alternativos de escurrimiento. A su vez, la conexión de nuevos desarrollos urbanos a la red de desagües existente puede conducir fácilmente a la sobrecarga del sistema.

Una característica causante del descontrol observado en la mayoría de las ciudades es que quien impermeabiliza no sufre las consecuencias, los efectos hidrológicos sólo se verifican aguas abajo.

Sumadas a estas causas, las inadecuadas prácticas de la agricultura, la deforestación y minería, reducen la cobertura de protección del suelo desencadenando los procesos de erosión y escorrentía, que resultan, a su vez, en procesos de sedimentación de ríos y arroyos aumentando por consiguiente la ocurrencia de las inundaciones.

La falta de mantenimiento es una de las principales razones del bloqueo de desagües debido a que los canales no son dragados con la frecuencia necesaria para su limpieza y funcionamiento efectivo. En los casos en los que el agua recibe altos porcentajes de nutrientes provenientes del escurrimiento de áreas agrícolas y efluentes líquidos urbanos, se observa que los desagües y canales están a menudo bloqueados por malezas acuáticas. Los sistemas combinados de desagüe de efluentes cloacales y pluviales acumulan sedimentos de manera muy acelerada. Otros residuos flotantes causan obstrucciones y constituyen serios problemas en las estaciones de bombeo. Los canales abiertos acumulan rápidamente grava, hojas caídas, ramas y residuos.

Otro factor importante que altera significativamente el funcionamiento hidrológico superficial, particularmente cuando el diámetro de los ductos no es suficiente para evacuar la lluvia, es el entubamiento.

A las causas de inundaciones señaladas anteriormente, pueden agregarse las originadas por problemas de cota o nivel en la instalación de cañerías, como así también el detonante de origen natural que son las lluvias torrenciales, las que colman la capacidad instalada de los desagües pluviales provocando anegamientos y desbordes interiores de los arroyos.

Tampoco hay que olvidar el *antroporrelieve*, esto es la “nueva topografía” obtenida por modificación del nivel de la cota del terreno debido a la construcción de emprendimientos urbanísticos, sean viviendas o vías de comunicación (férreas, autopistas, rutas, puentes, etc.).

III. Antecedentes de la investigación

III.1. Desastre, Riesgo Poblacional, Amenaza y Vulnerabilidad Social

Siendo que las causas que desencadenan la contaminación del recurso hídrico o las inundaciones pueden ser de origen natural o artificial, es interesante destacar que si los desastres se relacionan con estímulos de tipo antrópico puede resultar menos complicado establecer los criterios de corrección, pudiendo ser evitados con sistemas de control y de prevención. De tratarse de causas naturales, aún cuando todavía existan variables que puedan ser controladas por el hombre, la dinámica de estos componentes escapa en cierta medida a su predicción y control. Por lo tanto, si bien es imposible que se produzcan precipitaciones intensas, sí es factible acomodar el medio de tal manera que sea capaz de soportar, o al menos mermar, los potenciales efectos que resulten de la ocurrencia de estos factores, disminuyendo así el riesgo al que está expuesto la población.

Los profesionales que investigan las problemáticas asociadas con el riesgo hídrico consideran a la amenaza como un fenómeno natural; por ejemplo Natenzon (1995), sostiene que el evento de riesgo puede ser descompuesto en cuatro componentes claramente identificables a los fines analíticos, pero estrechamente interrelacionados: peligrosidad, vulnerabilidad, exposición e incertidumbre:

- La *peligrosidad* tiene que ver con el potencial peligroso de un fenómeno físico natural (inundaciones, terremotos, sequías, etc.), que es inherente al fenómeno mismo. El estudio de la amenaza en cuestión tiene por objetivo predecir el comportamiento de estos fenómenos.
- La *vulnerabilidad* se vincula con la situación socioeconómica antecedente de la población sobre la que impacta el evento físico peligroso. En el análisis de la vulnerabilidad interesan las heterogeneidades de la sociedad implicada, sus situaciones diferenciales y su diferencial respuesta a un contexto -mundo-homogéneo, ya que tales heterogeneidades son las que determinarán, en gran parte, las consecuencias catastróficas del evento natural. Así, generalmente se entiende que los sectores sociales pobres son los más vulnerables a dichos eventos: la pobreza es un rasgo estructural que condiciona, por un lado, la ubicación de estos grupos en áreas peligrosas y, por el otro, el nivel de preparación y respuesta ante los mismos. Además de los factores sociales y económicos, la vulnerabilidad se relaciona con los niveles de organización e institucionalización que tienen que ver con la gestión del riesgo (González, 1999).
- La *exposición* se refiere a la distribución territorial de la población y los bienes materiales potencialmente afectables por el fenómeno natural peligroso. Es la expresión territorial de la interrelación entre los procesos físicos naturales (amenaza) y los procesos socioeconómicos (vulnerabilidad), cuyo resultado es la configuración de determinados usos del suelo, distribución de infraestructura, localización de asentamientos humanos, etc.
- El riesgo está configurado por las tres dimensiones explicadas anteriormente; cuando no se puede predecir el comportamiento del fenómeno físico peligroso, ya

no se trata de riesgo sino de incertidumbre. La falta de respuestas precisas desde el conocimiento científico se contraponen a la urgencia de la toma de decisión en la esfera política: se trata de situaciones que no pueden ser resueltas a partir del conocimiento existente, pero que requieren de una resolución inmediata por la importancia de los valores en juego, fundamentalmente vidas humanas y bienes materiales. Esto hace que se deban incorporar a la toma de decisión todos aquellos actores sociales que se encuentran expuestos al riesgo, con lo cual la resolución se efectuará en la esfera política (González, 1999).

En la Tabla 1 se resume lo considerado por Natenzon:

Tabla 1. Dimensiones y conocimientos necesarios para el estudio de un evento de riesgo

Dimensiones	Conocimiento necesario
PELIGROSIDAD Potencialidad	Aspectos físico - naturales del evento o proceso natural desencadenante.
EXPOSICIÓN Impacto material	Aspectos territoriales y poblacionales (número de personas, bienes); su distribución territorial.
VULNERABILIDAD Estructuras sociales	Aspectos socioeconómicos comprobables del estado antecedente de los grupos sociales involucrados.
INCERTIDUMBRE Percepción, decisiones	Aspectos políticos y de percepción de los grupos sociales involucrados. Valores e intereses en juego.

Fuente: Natenzon, 1995.

Asimismo, Natenzon considera que *el riesgo es la potencialidad de que algo ocurra y que cuando la catástrofe ocurre esa potencialidad se transforma en realidad, acontece.*

En relación a lo descrito, la autora de esta tesis doctoral propone que:

- se adopte a la *amenaza (peligrosidad)* para Natenzon) no solamente a un evento natural (inundaciones, terremotos, sismos, sequías, etc.), sino a todo aquel potencial peligroso que pone en riesgo el bienestar íntegro de la población. Por lo tanto en esta investigación se considera como amenaza tanto al proceso físico natural (inundaciones), como a los procesos artificiales (magnificación antrópica de las inundaciones, como así también la contaminación hídrica superficial y subterránea);
- el concepto de *vulnerabilidad social* hace referencia a las situaciones económica y habitacional de la población, analizando los procesos interactuantes;
- no se discrimina el componente *exposición*, dado que esta expresión territorial es considerada conjuntamente al analizar la vulnerabilidad social;
- respecto al componente *incertidumbre*, Natenzon (1995) sostiene que cuando no se puede predecir el comportamiento del fenómeno físico peligroso, ya no se trata de "riesgo" sino de "incertidumbre". Considero que este concepto sólo es válido para la escala temporal del evento natural estudiado en este trabajo (inundaciones), y no para la escala espacial, debido a que aquellas zonas que son afectadas por inundaciones, lo seguirán estando a menos que se realicen obras de infraestructura

que las frenen o impidan; por lo tanto de producirse precipitaciones intensas se podrá "predecir" qué lugares se inundarán. La predicción para el proceso de contaminación presenta menos interrogantes que para el de inundaciones, aunque para verificar el estado del recurso deberán realizarse los estudios de laboratorio correspondientes. Asimismo, si bien el riesgo es la potencialidad de que algo ocurra, por ejemplo para la ingesta de agua es prácticamente imposible establecer los tiempos de exposición al riesgo, puesto que se trata de un evento continuo.

Por lo expuesto la autora *define el riesgo poblacional humano en relación al recurso hídrico o riesgo hídrico poblacional humano, como al evento (inundación por desborde de ríos, precipitación intensa y anegamiento, deterioro en la calidad y cantidad del agua superficial y subterránea, etc.), que tenga como elemento eje al recurso agua y que impacte directa o indirectamente sobre algún/os o todos los aspectos que conforman el bienestar íntegro de la población (salud, bienes materiales, economía, actividades productivas y culturales). Por lo tanto, para poder cuantificar ese riesgo es imprescindible estudiar los procesos fisicoquímicos que ponen en peligro a la población (amenazas), como así también los socioeconómicos (vulnerabilidad social)*. Es importante aclarar que se entiende a la vulnerabilidad como la debilidad frente a las amenazas (ausencia de la capacidad de resistencia, y no como la incapacidad de recuperación después de la ocurrencia de un desastre (falta de resiliencia, capacidad de persistencia). De esta forma, tal como lo plantean Maskery (1989) y Wilches-Chaux (1998), se considera el riesgo poblacional como la interacción de los componentes de vulnerabilidad social por amenaza (Ecuación 1):

$$\text{RIESGO POBLACIONAL (RP)} = \text{Vulnerabilidad Social (VS)} \times \text{Amenaza (A)}$$

Ecuación 1. Riesgo poblacional

Las *vulnerabilidades sociales* investigadas en la Cuenca Las Catonas, son las relacionadas con:

1. el agua para consumo proveniente de los acuíferos Pampeano y Puelche;
2. las inundaciones periódicas y
3. el agua superficial, tanto por ser cuerpo receptor de la escorrentía directa en las áreas agrícola-ganaderas, y de descargas puntuales provenientes de los efluentes industriales y doméstico-urbanos, como así también por producir efectos directos e indirectos sobre la población que toma contacto con ésta al desbordar los cursos de agua.

Y las *amenazas* estudiadas son, respectivamente:

1. hidroquímica (consumo humano) e hidrodinámica del recurso hídrico subterráneo (acuíferos Pampeano y Puelche);
2. factores climáticos, físicos naturales y antrópicos que potencian el evento de inundaciones y

3. contaminación del recurso hídrico superficial (recreación con contacto directo y protección de la vida acuática).

A partir del estudio de las diversas variables que dan cuenta de los componentes VS y A, mediante la creación y aplicación de **indicadores de estado**, se determinan subcuencas con diferentes grados de riesgo poblacional, que es donde convergen los niveles más elevados de amenaza y vulnerabilidad social. Como un indicador no puede dar cuenta de todos los componentes del proceso ocurrido, se usará una serie de indicadores que caractericen los distintos aspectos y dimensiones de un proceso dado.

El producto final, la determinación de subcuencas con diferentes grados de riesgo hídrico al que está expuesta la población, es la expresión cartográfica de las relaciones ambientales existentes. De esta manera, los indicadores de estado al ser cuantitativos y/o semicuantitativos, permitirán la comparación de elementos y de procesos entre diferentes subcuencas. Ese producto final será un conjunto de interrelaciones entre indicadores territorializados (mapas) que son la expresión cartográfica de las características ecológicas del lugar. Estos mapas de estado de la cuenca, además de aportar el conocimiento sobre los procesos estudiados, constituyen una base importante para optimizar la toma de decisiones en relación con la planificación y gestión del territorio, así como una herramienta útil para la formulación de políticas con base territorial en el ámbito de los gobiernos municipales involucrados.

III.2. Recurso hídrico en la Región Metropolitana de Buenos Aires (RMBA)

Es importante aclarar en este punto qué abarca la denominada RMBA. El término fue mencionado por primera vez en el Censo Nacional de 1960, pero fue reintroducido en el debate académico por el sociólogo Pírez (1994). El autor consideró que, además de la primera y segunda corona la aglomeración se extiende más allá, hacia una tercera corona, independientemente de si el tejido urbano es estrictamente continuo o no. Se estaba refiriendo a aspectos más relacionados con cuestiones funcionales que morfológicas. Asimismo, en los años noventa el geógrafo Bozzano (2000) realizó estudios metropolitanos de alta complejidad, identificando y delimitando múltiples situaciones socio-espaciales urbanas. La geógrafa Kralich (1995) realizó un trabajo que tuvo impacto en la comunidad académica cuando sugirió (basándose en Torres y Vapñarsky, 1999), delimitar los bordes metropolitanos en función de los desplazamientos cotidianos de la población, es decir, hasta el lugar último a donde llegan las líneas de transporte durante el día (especialmente colectivo). De esta manera, estableció los límites de la RMBA en su sentido más amplio: Ciudad de Buenos Aires, primera y segunda coronas, más Escobar, Pilar, Campana, Zárate, Exaltación de la Cruz, Gral. Rodríguez, Luján, Mercedes, Marcos Paz, Gral. Las Heras, Navarro, Lobos, Cañuelas, San Vicente, Brandsen, La Plata, Ensenada y Berisso. Un territorio donde viven aproximadamente 13 millones de habitantes y de más de 15.000 kilómetros cuadrados de superficie que va desde Zárate hasta La Plata, describiendo un amplio semicírculo. El criterio tiene aplicación cuando se comprueba que en todos estos partidos se están registrando transformaciones

espaciales debido a que están dentro de una vasta área que se podría definir como “de influencia” del Área Metropolitana de Buenos Aires, es decir, que hay procesos de valorización de la tierra, subdivisión y venta de campos, loteos para quintas, establecimientos agroproductivos con tecnologías intensivas, fenómenos diversos de periurbanización, etc. (Barsky y Fernández, 2004).

III.2.a. Captación y uso del recurso agua

Considerando que aproximadamente el 75 % del territorio argentino es árido o semiárido (presenta déficit en el balance hídrico), y que sólo dos regiones tienen abundante agua superficial potabilizable (Mesopotamia y Cordillera Patagónica), se desprende que el agua subterránea juega un rol importantísimo en la provisión para consumo humano. A nivel país, aproximadamente un 50 % del abastecimiento para dicho uso es de origen subterráneo.

En la Tabla 2 se indican los consumos locales del Conurbano de Buenos Aires (población 8,9 millones), durante la década de los '90 (Auge, 2004):

Tabla 2. Consumo de agua en el Conurbano Bonaerense⁵ – Década del '90

	Habitantes	Agua superficial (hm ³ /año)	Agua subterránea (hm ³ /año)
Población servida	3,5 . 10 ⁶	383	256
Población no servida	5,4 . 10 ⁶		100
Industria		100	300
Riego			120
	Total:	483 (38 %)	776 (62 %)

En el Conurbano Bonaerense, el mayor volumen de agua se destinó en la década de los '90 al consumo humano (739 hm³/a) sobre un total de 1259 hm³/a (el 59 %), seguido por la industria (400 hm³/a, el 32 %) y finalmente el riego (120 hm³/a, el 9 %). De la demanda total, un 62 % se cubrió con agua subterránea y un 38 % con agua superficial.

Considerando a la Ciudad Autónoma de Buenos Aires y los 24 partidos, se tiene un total de población de 11.364.137 habitantes (2.725.094 y 8.639.043, respectivamente), de los cuales el 73 % (8.377.267) es servido con agua de red y el 51 % (5.859.635) dispone sus excretas a través de red cloacal. Este desbalance entre coberturas se hace más evidente si se excluye a la Cdad. de Bs. As.; sin ella los valores de población servida con agua de red desciende al 65 % (5.645.232) y el de red cloacal al 37 % (3.226.884). Del análisis de estas cifras surge la preocupación de la elevada población que se encuentra en posible riesgo por ingesta de agua contaminada.

⁵ Conurbano Bonaerense: incluye a la Ciudad Autónoma de Buenos Aires más los 24 partidos bonaerenses de su conurbación (Barsky y Fernández, 2004).

III.2.b. Recurso hídrico subterráneo

Este trabajo se centra en el recurso hídrico subterráneo contenido en las unidades estratigráficas Pampeano y Arenas Puelches.

La trascendencia del Pampeano radica en que actúa como vía para la recarga y la descarga del Acuífero Puelche subyacente y también para la transferencia de las sustancias contaminantes, generadas principalmente por actividades domésticas y agrícolas, como por ejemplo los nitratos.

En la zona rural cultivada y donde se hallan emplazamientos urbanos carenciados, la falta de entubamiento y aislamiento del Pampeano, hace que los pozos capten en forma conjunta agua de éste y del Acuífero Puelche.

El recurso subterráneo más explotado de la Región es el acuífero semiconfinado Puelche, el más importante de Argentina por sus reservas, calidad, explotación actual y diversidad de usos. Fuera de los límites de este acuífero, existen otros, muchos de los cuales están en contacto con lechos de cenizas volcánicas, como ocurre en Venado Tuerto, Villegas, Junín y Tornquist entre otros.

Las Arenas Puelches son de origen fluvial, ocupan en forma continua unos 92.000 km² en el subsuelo del NE de la Provincia de Buenos Aires y se extienden también hacia el N en la de Entre Ríos y hacia el NO en las de Santa Fe y Córdoba (Auge *et al*, 2002); en el Mapa 1 se observa la extensión del Acuífero Puelche y las variaciones del espesor.

El Acuífero Puelche es uno de los más explotados del país, pues de éste se abastece en gran medida el Conurbano de Buenos Aires que, con aproximadamente 12 millones de habitantes, es el núcleo más densamente poblado de la Argentina. Los pozos de agua de red de las pocas empresas privadas que existen (excepto Aguas Argentinas), captan de este acuífero, que también se aprovecha para riego y para la industria. Es muy poco lo que se conoce respecto a las unidades hidrogeológicas que subyacen a las Arenas Puelches, porque son muy escasas las perforaciones que las alcanzan o atraviesan, debido a que tanto en la zona estudiada como en otras vecinas, han brindado aguas con elevados tenores salinos. Sin embargo, en la Sección IV.2.c.i (estratigrafía) se efectúa una descripción generalizada de las mismas.

La recarga del Acuífero Puelche es autóctona indirecta a partir del acuífero suprayacente Pampeano, a través del acuitardo, donde éste posee carga hidráulica positiva. La descarga regional del Puelche ocurre hacia los sistemas fluviales Paraná - de la Plata y Salado, directamente, o por medio del caudal básico de los principales ríos y arroyos, al cual aporta el acuífero, a través del Pampeano que actúa como unidad de tránsito (Auge *et al*, 2002).

El aumento poblacional e industrial de las últimas décadas acompañado por la ausencia de planificación de la urbanización y de la cobertura de los servicios de agua

potable y saneamiento, ha deteriorado progresivamente la calidad del recurso hídrico subterráneo. En las áreas urbanas las fuentes predominantes de contaminación del agua subterránea son los basurales a cielo abierto, averías en cañerías cloacales, percolación desde los pozos ciegos, reinyección de efluentes industriales a los acuíferos, etc.

En la década del '80, debido a la extracción intensiva de agua subterránea, se produjeron importantes fenómenos de depresión regional en las áreas más densamente pobladas. Esta sobreexplotación del Acuífero Puelche produjo efectos tan notorios como:

- inversión de la circulación del agua subterránea: naturalmente el agua escurría hacia el estuario del Río de la Plata pero, a fuerza de bombear desde el centro se invirtió dicha circulación, produciéndose el efecto contrario (el flujo subterráneo se dirigía desde la costa hacia los centros poblados del Gran Bs. As.);
- esta inversión en la circulación subterránea del Acuífero Puelche, trajo aparejado el ingreso de agua proveniente de la planicie costera vecina al Río de la Plata, lo que produjo la salinización de numerosos pozos que debieron ser abandonados (La Plata, Quilmes, Bernal, etc.);
- agotamiento de las reservas del acuífero: esto trajo aparejado el descenso de la superficie piezométrica y consecuentemente de la superficie freática; ello obligó a profundizar las perforaciones domiciliarias para mantener la captación del Acuífero Pampeano. Además en algunos casos, la profundización del nivel piezométrico por debajo del acuitardo derivó en la transformación del Acuífero Puelche de semiconfinado a libre.

En la actualidad, algunos conos de depresión siguen existiendo en zonas donde el agua subterránea es la principal fuente de abastecimiento (Berazategui, Florencio Varela), mientras que en Quilmes como en la mayor parte del resto del Conurbano, el reemplazo de las perforaciones por agua potabilizada del Río de la Plata derivó en un ascenso progresivo de la superficie freática generando gravísimos problemas de deterioro ambiental por afloramiento de agua subterránea contaminada.

Ayuda también a este proceso de ascenso, el hecho que muchas industrias consumidoras de este recurso cerraron sus puertas debido a la crisis económica que acaece nuestro país desde finales de la década de los años '90. El proceso ha comenzado a revertirse a partir de 2002 con el incremento en la producción industrial y consecuentemente de la extracción de agua subterránea.

Con referencia a la calidad del agua subterránea, no existe un trabajo regional que de cuenta del estado de los acuíferos, sino diferentes estudios realizados por diversas instituciones y organizaciones. Dentro de estos pueden mencionarse los ejecutados por investigadores del Instituto del Conurbano, en el marco de los diagnósticos ambientales llevados a cabo en los municipios de la zona de influencia de la Universidad Nacional de General Sarmiento: en el Municipio de San Miguel (Herrero y Ramírez, 2001), de Pilar (Herrero *et al*, 2002), de Ituzaingó (Fernández y Reboratti, 2003), de Malvinas

Argentinas (Fernández y Fagúndez, 2004) y de José C. Paz (Fernández y Martucci, 2005). En todos ellos se analizó presencia de *E. coli* y concentración de nitratos presentes en el agua de consumo. En todos los casos se han detectado niveles de contaminación muy elevada, y enfermedades vinculadas con la ingesta de agua contaminada (diarrea, hepatitis), registrándose además en algunos barrios carenciados, fallecimiento de lactantes por metahemoglobinemia.

Luego, el trabajo realizado por Silva Busso y Santa Cruz (2005) en el Partido de Escobar muestra: una asociación natural del flúor y arsénico (relacionada con la litología de los sedimentos Pampeanos); la concentración de nitratos en el agua subterránea y los valores de coliformes totales presentaron una elevada correlación, ambos relacionados con la presencia de sectores urbanos sin servicios de saneamiento; el registro de valores relevantes de ciertos microelementos (Fe, Mn, Cu y Zn), se relacionó con el uso agrícola intensivo; mientras que la de otros (Pb, Co, Ni y Cr) mostró una estrecha vinculación con el uso del suelo industrial.

Asimismo, Momo *et al.* (1999) estudiaron la relación de los usos del suelo del Partido de Luján con los contaminantes hallados en el Puelche, encontrándose los mayores factores de riesgo que afectan al acuífero: los vinculados con la contaminación de origen urbano; la extracción de agua en grandes cantidades por parte de algunas industrias (cerveceras fundamentalmente) y la fertilización por fosfatos.

III.2.c. Inundaciones

En toda la extensión de la RMBA el paisaje natural se encuentra seriamente afectado por la acción antrópica. La morfología de la Región se halla fuertemente enmascarada y en gran parte modificada por la gran urbanización, alternando las redes originales de drenaje con la canalización y entubamiento de los cursos de agua. Estas alteraciones han modificado sustancialmente el funcionamiento natural de las cuencas hidrológicas.

Se destacan los efectos derivados de la ocupación de áreas ribereñas a ríos y arroyos y los producidos por la fuerte expansión urbana. Son importantes los problemas derivados del ascenso del agua freática, resultante de: la combinación de la extensión de las redes de agua proveniente del Río de la Plata, la eliminación del bombeo de perforaciones que contribuían a las redes de abastecimiento de agua potable, el escaso desarrollo de las redes cloacales y las características geológicas regionales. Estos aspectos se han tornado más evidentes en la última década como resultado del desequilibrado desarrollo de los servicios de agua potable y de alcantarillado cloacal⁶. Entre los problemas que provoca un nivel freático alto se destacan: el anegamiento de las construcciones subsuperficiales, problemas en la evacuación de excretas domiciliarias, colmatación continua de los pozos absorbentes, subpresión sobre las estructuras de las construcciones, agresión de aguas salinas sobre las construcciones, deterioro de las obras de infraestructura urbana y riesgos de la población en lo que respecta al aumento de la probabilidad de contraer enfermedades de origen hídrico (cólera, hepatitis A, diarrea, parasitosis, meningitis, etc.).

⁶ Ver cifras mencionadas en Sección III.2.a.

Tal como lo mencionan Jiménez (2004), en base a ciertas características meteorológicas, físicas y demográficas de nuestro país, se pueden caracterizar regionalmente a las inundaciones pluviales urbanas y suburbanas conforme la siguiente tipología mínima:

- Zona del Litoral fluvial: en los valles aluviales de los grandes ríos del Litoral: Paraná, Uruguay y Paraguay, que comprende la totalidad del área climática subtropical sin estación seca y la porción noreste de la templada Pampeana.
- Zona de la Llanura Chaco-Pampeana: que abarca dos grandes áreas climáticas: la llanura chaqueña con clima subtropical con estación seca en otoño-invierno y grandes lluvias veraniegas y al sur la Llanura Pampeana con clima templado húmedo. Abarcan las extensas áreas deprimidas y de muy baja pendiente desde los Bajos Submeridionales, pasando por Santiago del Estero, Córdoba, Santa Fe y Buenos Aires, destacándose las cuencas de los ríos Quinto y Salado bonaerense.
- Zona del pedemonte: que comprende áreas normalmente semiáridas, exceptuando el faldeo oriental de la Cordillera Subandina en el extremo noroeste, y el sector localizado al sur de la Provincia de Neuquén.
- Zona patagónica: pertenece a otra característica climática, de frío seco y escasas lluvias, aunque excepcionalmente se producen aluviones provocados por advección de humedad desde el Atlántico.

El caso de las inundaciones ocurridas en el Área Metropolitana de Buenos Aires (AMBA)⁷, si bien correspondería ubicarla genéricamente en la segunda zona mencionada, debería recibir un tratamiento analítico particular, debido a su espectacular impacto socioeconómico. En el AMBA se producen inundaciones en las cuencas de los dos principales tributarios del Río de la Plata (Reconquista y Matanza-Riachuelo) y en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, donde el problema se vincula con el desborde de arroyos entubados como consecuencia de lluvias convectivas. En ambos casos, otro factor desencadenante de las inundaciones es la crecida del Río de la Plata, por sudestadas.

En las cuencas del Reconquista y del Riachuelo viven aproximadamente 5.000.000 de personas en cada una, mientras que en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires residen

⁷ El término fue introducido en el Censo Nacional de Población en el año 1991. Incluye a la Cdad. Autónoma de Bs. As. y a los partidos bonaerenses hacia donde se extendió la denominada “mancha urbana”. En 1995, un estudio realizado por el Ministerio del Interior dio el marco a un trabajo que se ha convertido en uno de los referentes clásicos sobre el tema metropolitano: el informe CONAMBA (Comisión Nacional del Área Metropolitana de Buenos Aires). En ese momento, se consideró como AMBA a los mismos distritos considerados para el Gran Buenos Aires o Conurbano Bonaerense, es decir, hasta la segunda corona. Posteriormente, se ha advertido que el crecimiento de la mancha ya alcanza en la actualidad a nuevos partidos: Pilar, General Rodríguez, Escobar, Presidente Perón y San Vicente (a veces se incluye a Marcos Paz). Si bien no hay un acuerdo definitivo sobre este punto, la tendencia es incluir a estos partidos en una nueva definición de AMBA (Barsky y Fernández, 2004). ³²

en forma permanente 2.765.772 habitantes, con una población diurna que se duplica por la cantidad de personas que arriban ya sea por razones de trabajo o de asistencia sanitaria, que se trasladan a ella desde el Conurbano Bonaerense.

El AMBA está ubicada en la parte inferior de varias cuencas interjurisdiccionales de drenaje (Matanza-Riachuelo, Reconquista, Maldonado, Vega, Medrano) (Mapa 2). Tiene un gran desarrollo de superficies edificadas y pavimentadas, lo que no se condice con las capacidades disponibles en los conductos de evacuación de las aguas provenientes de las tormentas severas que se dan cada vez más frecuentemente; por ello ante la ocurrencia de tormentas de significación, colapsa el sistema de drenaje con fuerte impacto sobre la población, sus bienes y la infraestructura existente.

Las inundaciones pluviales en el AMBA, si bien de corta permanencia, producen gran número de personas afectadas e incluso muertos por electrocución, así como daños en infraestructura eléctrica, telefónica y subterráneos. Los ejemplos más severos son: la tormenta del 26 de enero del año 1985 con 192 mm y la máxima histórica de 306 mm el 31 de mayo de 1985, episodio que provocó 120000 evacuados, y la última gran catástrofe del 24 de enero del 2001.

III.2.d. Recurso hídrico superficial

Las cuencas hídricas de la RMBA (Mapa 3) presentan indicio de diversos tipos de contaminación doméstica, dado que gran parte de la población más carenciada se encuentra asentada en las orillas de los cursos de agua superficial y de esta manera evacuan las aguas servidas sin tratamiento directamente a los arroyos; este patrón de asentamiento puede observarse en el Mapa 4. Con referencia a las industrias, también se ha podido observar que muchas de éstas se ubican estratégicamente a la orilla de los cursos de agua (Mapa 5), volcando sus desechos en su mayoría con escaso o directamente sin tratamiento. Finalmente, los contaminantes de origen rural, proveniente de los compuestos que se emplean en el campo para la mejora de las cosechas o para la mitigación de plagas, alcanzarían los cursos de agua por el proceso de escorrentía. Como puede observarse en el Mapa 6 los usos relacionados con la actividad rural se localizan en las cuencas altas.

IV. Área de estudio

IV.1. Aspectos socio-demográficos

IV.1.a. Localización, superficie, límites y conectividad

La Cuenca Las Catonas se ubica en el NE de la Provincia de Buenos Aires. Regionalmente corresponde a la unidad fisiográfica denominada "Pampa Ondulada". Conformar una subcuenca del sistema fluvial del Río Reconquista, con un curso principal de agua de 18 km de longitud y una superficie de avenamiento aproximada de 146 km². Esta subcuenca comprende la casi totalidad del Municipio de Moreno y en menor medida los de Gral. Rodríguez, Pilar, San Miguel y José C. Paz (Mapa 3 y Mapa 7).

Las vías de conectividad son (Mapa 8):

Rutas:

- Acceso Oeste: vía de mayor importancia, atraviesa la cuenca en dirección E-O;
- Ruta Provincial 23: une San Miguel con Moreno;
- Ruta Provincial 24: une José C. Paz con Moreno;
- Ruta Provincial 25: une Pilar con Moreno y vincula a las dos anteriores;
- Ruta Provincial 28: si bien esta vía se encuentra por fuera de la cuenca, es la que conecta a Pilar con Gral. Rodríguez.

Ferrocarril:

- Línea Domingo Faustino Sarmiento: corre paralela la Ruta Nacional 7, en el límite SO de la cuenca, siendo las estaciones más próximas: Paso del Rey, Moreno, La Reja, Francisco Álvarez, Parada las Malvinas y General Rodríguez.

IV.1.b. Demografía

El Censo Nacional de Población y Vivienda realizado por el INDEC en el año 1991 revela para la cuenca una población de 240.015 habitantes, siendo en el 2001 de 418.888 habitantes, por lo que el factor de crecimiento demográfico fue del 1,75.

IV.2. Aspectos físicos

IV.2.a. Clima

La cuenca se ubica en un área de *clima subhúmedo-húmedo*⁸, caracterizado por inviernos suaves y veranos calurosos. La cercanía al mar y al estuario del Río de la Plata, ejerce su influencia moderadora de la amplitud térmica y también produce altos registros en las precipitaciones (1.100 mm anuales, en promedio) y en la humedad

⁸ Según la clasificación de Thornthwaite (1948).

relativa (una media anual del 78%). Estos registros van descendiendo paulatinamente a medida que se avanza hacia el oeste de la Pcia. de Bs. As. La Región se encuentra sujeta a la influencia de vientos provenientes del Anticiclón del Atlántico Sur (Sudestada), que normalmente se vincula a una lluvia uniforme y persistente en el tiempo. Además, concomitantemente la Sudestada dificulta notoriamente la descarga del Río de la Plata en el Océano Atlántico, generando la crecida de éste y de sus afluentes más importantes (ríos Matanza, Reconquista, Luján). Otro de los vientos característicos en la Región ES EL Pampero (seco y frío) que proviene del SO. Sin embargo, en el verano también es frecuente el viento Norte que cuando persiste durante varios días genera el denominado *golpe de calor*, que consiste en la permanencia de una alta temperatura mínima, lo cual hace perdurar una temperatura elevada las 24 horas durante varios días.

Las heladas son frecuentes durante el invierno y esporádicas al comienzo de la primavera, considerándose las como peligrosas para los cultivos.

La precipitación y la temperatura, son las variables que ejercen mayor influencia en las características climáticas de una región y por tal motivo son las más usadas en las clasificaciones. Otras menos determinativas y con menor frecuencia de registros son: presión atmosférica, insolación, humedad, radiación, viento y nubosidad.

Precipitación. En la Figura 1 se aprecian las precipitaciones medias mensuales y la precipitación media anual para el período de 32 años⁹ (1970-2001), registros suministrados por la Estación Agrometeorológica del INTA Castelar.

Asimismo también se presenta la distribución estacional de las lluvias: en los meses de primavera los valores porcentuales oscilan del 11% al 9% por encima y por debajo del valor medio (85 mm/mes). Durante todo el verano y hasta mediados del otoño, la lluvia supera a la media, ocurriendo lo contrario a fines del otoño y durante todo el invierno. De mayo a septiembre se producen las menores precipitaciones mensuales. Como puede observarse, el verano presenta los valores más altos de precipitación (31%), siguiéndoles el otoño, la primavera y finalmente el invierno con 27%, 26% y 16% respectivamente.

Temperatura. En la Figura 2 se observa la variación media mensual de las temperaturas registradas. La máxima se produce en enero con 24 °C y la mínima en julio con 10 °C. Estos registros también fueron facilitados por la Estación Agrometeorológica del INTA Cautelar.

Resulta importante destacar la relación entre la temperatura y precipitación medias, pudiéndose observar coincidencias de máximas (enero) y de mínimas (julio) (Figura 3). Dado que solamente octubre respecto a noviembre y febrero respecto a marzo no presentan correspondencia entre la tendencia de la temperatura y la precipitación, esta alta correlación evidencia el carácter predominantemente local de la lluvia por influencia directa de la evapotranspiración.

⁹ 30 años de observación es la norma impuesta por la Organización Meteorológica Mundial, para la lluvia.

IV.2.b. Morfología e hidrografía

La Cuenca Las Catonas se ubica en el extremo SE de la región conocida como la gran Llanura Chacopampeana, que en nuestro país ocupa alrededor de 1 millón de km², de esta superficie el 65 % presenta características áridas o semiáridas y el 35 % restante húmedas, que son las que imperan en la región estudiada.

El relieve es suavemente ondulado, con alturas que van de los 100 m al O de la Pcia. de Buenos Aires hasta el nivel del mar en el E.

Según Bracaccini (1972), la Llanura Chacopampeana se ubica en el denominado “País Epirogénico”, zona caracterizada por un predominio de movimientos epirogénicos sobre los orogénicos.

Para Sala (1969) el área se ubica en la unidad media de la “Terraza Alta” de la Cuenca del Río Reconquista, caracterizada por suaves ondulaciones en la cabecera, que se hacen más pronunciadas hacia la desembocadura. Otra característica saliente es el ensanchamiento de los valles aguas abajo. Esta última, es un hecho común en la mayoría de los ríos y arroyos del NE de la Pcia. de Bs. As. En general las divisorias son poco marcadas aunque en menor grado la ubicada al N del cauce principal. Los valles secundarios son relativamente amplios y poco profundos (EASNE, 1972).

Otra clasificación es la de Tapia (1937) que sitúa el área estudiada en la “Región III”, con la que coincide Frenguelli (1950) denominándola “Pampa Baja” y caracterizándola como una zona subnegativa dentro de un panorama de tectónica de bloques, enmascarada en la actualidad por material cenozoico.

Según Auge y Hernández (1984) se puede caracterizar al ambiente de llanura por su monotonía geológica superficial (debido a la escasez de afloramientos), poca deformación tectónica, predominancia de sedimentos finos y medianos sobre gruesos y continuidad y extensión areal considerable de las unidades geológicas.

El área estudiada se caracteriza por su relieve llano y monótono, relativamente deprimido, con una pendiente media hacia el SE (a lo largo del colector principal). Las alturas máximas son algo mayores a los 35 m, en el sector occidental de la cuenca (sector NO), disminuyendo hacia la desembocadura en el Río Reconquista, donde las cotas son menores a 10 m (todas las altitudes están referidas al cero del IGM).

Dichas condiciones topográficas, sumadas a las características climáticas, hacen que sea una región benigna para el desarrollo de las actividades productivas.

Las condiciones morfológicas que caracterizan a la zona de estudio ejercen incidencia en la dinámica del agua subterránea, pues conforman un ambiente donde domina la infiltración o la recarga en las divisorias de aguas superficiales, dado que son los sitios con menor pendiente topográfica, mientras que las depresiones morfológicas (cauces, lagunas, bañados, etc.), actúan como zonas de descarga subterránea.

El diseño de la red de drenaje en una cuenca depende de varios factores: geológicos, climáticos, morfológicos, antrópicos, cobertura vegetal, etc. La cuenca estudiada adopta una forma rectangular alongada en dirección SE-NO, abarcando unos 146 km² y se caracteriza por la falta de lagos y lagunas, presentando únicamente en sus cabeceras pequeños bañados. La red de avenamiento es de diseño dendrítico y en parte rectangular, con una densidad de drenaje¹⁰ de 0,28 km/km². Considerando regionalmente la red de drenaje en el NE de la Provincia de Buenos Aires, tiene un diseño dendrítico dominante y rectangular subordinado, con una densidad de drenaje del orden de 0,35 km/km².

El Arroyo Las Catonas lleva sus aguas hacia el Río Reconquista, que a su vez desemboca en el Río Luján y éste, finalmente en el Río de la Plata (Mapa 3). El Arroyo Las Catonas es el colector principal con escurrimiento hacia el SE. Tiene, a su vez, afluentes como el Arroyo Los Perros (principal) y la Cañada Las Catonas, en su margen derecha y otros cursos de agua sin nombre, en su margen izquierda (Mapa 7). Dichos afluentes son de primer orden, permanentes o intermitentes y transportan el agua tanto del sector N como del S de la cuenca hasta el colector principal, observándose un mayor desarrollo de los valles fluviales en la región septentrional.

Sala y Ceci (1968) aplicando conceptos de geomorfología cuantitativa, llegaron a la conclusión que si bien los ríos del NE de la Provincia de Buenos Aires presentan diferencias en sus características físicas, éstas son muy pequeñas y teniendo en cuenta que el clima es homogéneo, su escurrimiento anual sería equivalente a un 10 % de la precipitación. Dicha estimación fue realizada para la Cuenca del Matanza y muchos autores la extrapolan a otras cuencas vecinas. Auge (1997b) realizó aforos en nueve cuencas hidrográficas vecinas a La Plata y concluyó que la escurrimiento media es equivalente al 5 % de la precipitación. Dicho índice es el que se empleó en este trabajo para estimar el escurrimiento superficial (Sección V.3.c.i.), debido a las similitudes ecológicas, morfológicas, edafológicas y de usos del suelo.

En lo referente a su relación con el agua subterránea, el Arroyo Las Catonas es un curso efluente característico de llanuras húmedas.

En base a los cálculos que se realizan en las cuencas hidrográficas, se caracteriza a la Cuenca Las Catonas de las siguientes maneras:

- **Densidad de drenaje (Dd).** Da un valor de 0,28 km/km², lo que indica que es una cuenca pobremente drenada;
- **Superficie.** En base a Martínez y Navarro (1996), la Cuenca Las Catonas es considerada grande, ya que supera los 25 km²;

¹⁰ La densidad de drenaje es la relación entre la longitud de todos los cauces de la cuenca (lleven o no agua) y la superficie de la cuenca: $Dd = \Sigma L / A$ (Ecuación 2). Una cuenca se la considera pobremente drenada cuando su Dd es menor a 0,6 km/km² y bien drenada cuando es mayor a 3 km/km² (Benítez, 1972).

- **Índice de compacidad (Kc)**. Se refiere a la forma de una cuenca en planta. Un parámetro de uso frecuente entre los hidrólogos es el coeficiente de compacidad o de Gravelius; resulta de la comparación del perímetro de la cuenca con el de un círculo que tuviera su misma superficie (Ecuación 3):

Ecuación 3. Índice de compacidad

$$Kc = p / 2\sqrt{\pi \cdot A}$$

Donde:

p: perímetro de la cuenca (km)

A: superficie de la cuenca (km²)

Por lo tanto, siendo:

p = 56 km

A = 146 km²

Entonces:

Kc = 1,3.

Dado que el coeficiente obtenido se encuentra dentro del rango Kc = 1,25 - 1,50, indica que la cuenca es de forma ovalada, lo cual implica que las aguas circulan mayormente por cauces secundarios; por lo tanto lo que tarda la gota más alejada en salir, será mayor que el tiempo en una cuenca de forma alargada.

IV.2.c. Geología y comportamiento hidrogeológico

Zambrano (1974) considera a la Provincia de Buenos Aires como una única provincia geológica, pero Roller (1975) diferencia a los sistemas de Tandilla y Ventania por su distinta historia geológica y compartimento estructural, con respecto al resto de la provincia.

Se describen las unidades geológicas aflorantes y del subsuelo, indicando sus características litológicas y su comportamiento hidráulico e hidroquímico, comenzando por las más modernas, ya que están directamente vinculadas con el ciclo hidrológico.

Para la descripción del subsuelo se utilizó como base, por ser la más profunda, la perforación Estación de Cargas Haedo (cota + 27 m) ejecutada en 1917 por la Dirección de Hidráulica de la Provincia de Buenos Aires que alcanzó el Basamento Cristalino a 432 m de profundidad (Artaza, 1940), cuyo perfil con la descripción original se adjunta en la Figura 4.

IV.2.c.i. Estratigrafía

Postpampeano. Estos depósitos modernos de edad Holocena a Reciente son de orígenes diferentes: fluvial, lacustre, eólico y marino. Su litológica corresponde a arenas, limos y arcillas de tonalidades verduzcas, grisáceas y amarillentas.

Los Sedimentos Postpampeanos (Fidalgo *et al*, 1975) fluviales y lacustres, cuya litología es limo, arena muy fina o arcilla de tonalidades verdosas y grisáceas, provienen de la erosión y posterior redeposición de los Sedimentos Pampeanos en las zonas más bajas, como consecuencia del ascenso del Atlántico durante la última desglaciación, hace unos 10.000 años. En la Cuenca Las Catonas se presentan manifestaciones muy escasas de Postpampeano, restringido al cauce y a algunos bañados en la de zona de cabecera.

Estas acumulaciones restringidas a las depresiones interiores, poseen escaso desarrollo tanto en sentido vertical como areal. Al ser de granometría fina dominante (limo-arcilla), su comportamiento varía entre acucludo y acuitardo. La baja productividad, la elevada salinidad y su vulnerabilidad a la contaminación, hacen que el Postpampeano no sea utilizado como fuente de provisión de agua.

Para Frenguelli (1955), el Lujanense inicia la serie de Sedimentos Postpampeanos con un horizonte cenegoso debido al clima húmedo en el que se dio la sedimentación. La estratificación es irregular y poco marcada, variando el espesor de la unidad desde el centímetro hasta los 5 m en las zonas más bajas.

Pampeano. Esta unidad ocupa un lapso de tiempo que va desde el Pleistoceno Medio al Superior. Está compuesta por dos pisos: el Ensenadense y el Bonaerense (Ameghino, 1889); por ser muy difíciles de diferenciar, debido a su similitud litológica, se considera conveniente agrupar el conjunto bajo el nombre de Pampeano (Auge y Hernández, 1984).

Los Sedimentos Pampeanos (Fidalgo *et al*, 1975) constituyen el sustrato base sobre el que se desarrolla el suelo y el paisaje actual y es el material sobre el que fluye el Arroyo Las Catonas. Estratigráficamente se ubican entre el Postpampeano y la Formación Puelches. El contacto con el primero se produce a través de una discordancia erosiva local. Con respecto a las Arenas Puelches, generalmente el contacto es un estrato limo-arcilloso de unos cinco metros de espesor (Ensenadense basal-acuitardo) a través de una discordancia erosiva, otorgándole al Puelche un comportamiento de acuífero semiconfinado, pero en otros casos el pasaje entre ambas unidades es gradual.

El espesor del Pampeano depende de la profundidad del techo de las Arenas Puelches y también de la cota topográfica, variando entre 30 y 50 m en la zona de estudio.

Litológicamente está compuesto por una fracción limo dominante y arena y arcilla subordinadas, con intercalaciones arcillosas y tobáceas con abundante vidrio volcánico, que generalmente se denomina loess, de color castaño rojizo. Son frecuentes las intercalaciones calcáreas en forma de nódulos o estratiformes (tosca).

Su origen es eólico de baja energía y fluvial, y no presenta estratificación, y de poseerla es local y poco marcada. Por su conformación granométrica, textural y mineralógica, es más permeable y resistente a la erosión que el Postpampeano.

Mineralógicamente su composición es homogénea, siendo la mayoría de sus componentes de origen alóctono, provenientes de erupciones volcánicas de tipo andesítico y basáltico, con abundante plagioclasa, ortosa, cuarzo, pasta volcánica y con un porcentaje menor al 1 % de carbonato de calcio pulverulento y nodiforme (Teruggi, 1957).

González Bonorino (1965), en la zona de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires reconoció dos áreas mineralógicas: la superior caracterizada por la abundante illita y plagioclasa, con vidrio volcánico y la inferior compuesta por montmorillonita, caolinita y cuarzo abundante.

Las arcillas, particularmente illita y montmorillonita, son fundamentales en los procesos de intercambio iónico con el agua, influyendo en la composición química de la misma. En la Llanura Pampeana húmeda el proceso dominante es el de ablandamiento natural, por el que el agua cálcica pasa a sódica al quedar fijado el calcio en la estructura cristalina de la arcilla y pasar el sodio a la solución.

El Pampeano se destaca hidrogeológicamente por contener al acuífero homónimo, en el que se emplaza la capa freática.

La trascendencia del Pampeano radica en que actúa como vía para la recarga y la descarga del Acuífero Puelche subyacente, que es la unidad hidrogeológica más importante de la Provincia de Buenos Aires (Auge, 1982).

Debido a su granometría, tiene menor permeabilidad que las Arenas Puelches y por ende funciona como un acuífero de baja a mediana productividad, con permeabilidades del orden de 1 a 10 m/día que derivan en transmisividades de hasta 200 m²/día. En base a ensayos de bombeo en la zona, la permeabilidad es de 1,5 m/día y la transmisividad de 80 m²/día. Los caudales máximos obtenidos son del orden de 80 m³/hora (Herman, 2003).

En conjunto actúa hidráulicamente como un acuífero multiunitario, con comportamiento libre en la sección superior, donde el coeficiente de almacenamiento es igual a la porosidad efectiva, con extremos de 0,05 y 0,1 y con un grado de confinamiento que aumenta con la profundidad, debido a la intercalación de capas arcillosas.

A veces se pueden distinguir el miembro inferior (Ensenadense) del superior (Bonaerense) porque el primero se presenta más compacto y cementado y menos poroso. Se adjuntan diferentes perfiles de la zona para observar estas diferencias y cotejar las profundidades de los diferentes acuíferos: Campo de Mayo (Figura 5), San Isidro (Figura 6), Open Door (Figura 7) y Ezeiza (Figura 8).

La recarga del Acuífero Pampeano es de tipo local autóctono, producto de la infiltración directa de la lluvia y se destaca por constituir la fuente de recarga del Acuífero Puelche, mediante el proceso de filtración vertical descendente (Auge, 1986).

En lo referente a su composición química iónica, en la cuenca de estudio predominan aguas del tipo bicarbonatado sódico y magnésico.

Formación Puelches o Arenas Puelches. Está compuesta por arenas cuarzosas maduras, friables algo micáceas, de tamaño mediano a fino con intercalaciones de gravilla en los niveles inferiores. Presentan tonalidades amarillentas a blanquecinas, tornándose arcillosas hacia la Cuenca del Salado y hacia la Bahía de Samborombón (Auge y Hernández, 1984).

No se han encontrado fósiles en dicha formación y los únicos citados corresponden a Rusconi (1937), con procedencia dudosa.

El origen de estos depósitos sería fluvial deltaico (Santa Cruz, 1972) dejados por una red de drenaje cuyo colector principal era el antiguo sistema Paraguay – Paraná (Groeber, 1945).

Se encuentran interpuestas entre el Pampeano y la Formación Paraná, sobre la que se apoya discordantemente. Su techo se hunde hacia el SO (Cuenca del Salado), siguiendo al Basamento Cristalino, pero con una inclinación mucho menor y escasa deformación tectónica.

Su edad no se ha determinado con certeza y en general se la considera del Plioceno Superior a Pleistoceno Inferior. Su espesor varía entre 9 y 86 m en las vecindades de Zárate y Gral. Belgrano (Auge y Hernández, 1984) y en la zona de estudio, entre 13 y 25 m.

Auge *et al* (2002) estimaron en $3,1 \cdot 10^6$ hm³ el volumen total de la unidad que ocupa unos 92.000 km² en el NE de la Provincia de Buenos Aires, lo que deriva en una potencia media de 34 m.

El Acuífero Puelche actúa en condiciones normales como semiconfinado y los parámetros hidráulicos medios adoptados como representativos son: transmisividad 500 a 600 m²/d, permeabilidad horizontal 20 a 30 m/d, porosidad efectiva 0,15 a 0,20, coeficiente de almacenamiento 10^{-3} a 10^{-4} y transmisividad vertical de $5 \cdot 10^{-4}$ a $5 \cdot 10^{-5}$ l/día determinados por numerosos ensayos de bombeo (Auge *et al*, 2002). Regionalmente los gradientes hídricos varían entre $5 \cdot 10^{-4}$ y $1 \cdot 10^{-3}$, de los que derivan velocidades efectivas de 0,05 a 0,20 m/d.

La magnitud de la filtración vertical descendente que tiene lugar a través del acuitardo que constituye su techo, varía entre 0,4 y 21 l/d, lo cual representa un caudal de 4 a 210 m³/d por ha y por cada metro de diferencia de carga hidráulica (Sala y Auge, 1973). Para la Cuenca del Río Matanza, Auge (1982) estima que la recarga que recibe el Puelche desde el Pampeano, a través del acuitardo, es de unos 20.000 m³/d en una superficie de 1600 km².

Su productividad es mediana a alta (puede alcanzar caudales máximos cercanos a 250 m³/h).

De acuerdo a los perfiles de las perforaciones realizadas en Moreno, el espesor de las Arenas Puelches es de 13 m en Gral. Rodríguez en Sol de Agosto (Figura 9), 23 m en Francisco Álvarez (Figura 10), 21 m en José C. Paz (Figura 11), 19 m en Moreno y 21 m en el Barrio La Perlita (Figura 12).

Las Arenas Puelches conforman la más importante reserva de agua subterránea de gran parte de las provincias de Buenos Aires (Mapa 1), sur de Santa Fe, Córdoba, Entre Ríos y Corrientes; en estas dos últimas se las conoce como Formación Ituzaingó.

El hecho de emplazarse a profundidades someras en la región más densamente poblada del país como el Conurbano Bonaerense, de brindar caudales elevados y que sus aguas sean aptas para consumo humano, riego e industrial, hace que sea una de las unidades hidrogeológicas más explotada de la República Argentina (Hernández, 1975).

El Acuífero Puelche se recarga por filtración vertical descendente a partir del Pampeano, fundamentalmente en las divisorias de aguas subterráneas, donde el nivel piezométrico es menor que el freático (Auge, 1986). La mayor descarga deriva de la extracción, lo que provoca grandes distorsiones en la dinámica del flujo subterráneo. La porosidad efectiva fue estimada por Groeber (1945) en un 15 %, Sala (1969) le asignó un valor entre 28 y 31 % y Auge (1997b) el 20 %. Este acuífero almacena unos 300.000 hm³ en la Provincia de Buenos Aires, de los cuales un 45 % son aptos para consumo humano (Auge y Hernández, 1984).

Formación Paraná. También conocida con el nombre de “Mioceno Verde” o simplemente “El Verde” (Groeber, 1945), está compuesta por sedimentos marinos someros nerfíticos, denominados Paraniaco por Frenguelli (1950).

Litológicamente está compuesta por arcillas y arenas arcillosas de colores verdes azulados con niveles calcáreos e intercalaciones tobáceas y fosilíferas. Se conocen abundantes fósiles marinos destacándose un banco de Ostrea en la secuencia arcillosa cuspidal. La mayoría de los autores le asigna una edad Miocena Superior.

El espesor de la formación aumenta hacia el centro de la Cuenca del Salado, registrándose valores de 18 m en el jardín Zoológico de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires y de 441 en General Belgrano (Auge y Hernández, 1984). Próximo al área de estudio el espesor alcanza 115 m entre las cotas -48 m y -163, según el perfil de la perforación de la Estación de Cargas Haedo (Figura 4) (Artaza, 1940).

Con respecto al comportamiento hidrogeológico hay escasa información, pero se sabe que la sección superior (de -48 a -84 m), predominantemente arcillosa, se comporta como acuicluda, es decir que recibe y aloja agua pero prácticamente no la transmite; mientras que la inferior (de -84 a -163 m) (arenosa), lo hace como un acuífero confinado de media a alta productividad.

En una perforación situada en Campo de Mayo, se consignan caudales característicos de 4 m³/h.m (EASNE, 1972).

La recarga sería de tipo regional por interacción con el acuífero superior (Sala, 1975).

La salinidad varía de 10 a 30 g/l aunque en algunos casos es bastante menor, ya que en la Cuenca del Río Matanza una capa arenosa cuspidal, brinda valores del orden de 3 g/l (Auge, 1986).

Formación Olivos. También se la conoce como “Mioceno Rojo” o “El Rojo” (Groeber, 1945), asignada por la mayoría de los autores al Mioceno inferior.

En la zona estudiada se apoya directamente sobre el Basamento Cristalino, que está constituido por una secuencia dominada por areniscas arcillosas calcáreas y yesíferas, cuarzosas, de tonalidad castaño rojiza, de grano subangular a subredondeado, con geodas de calcedonia. El espesor aumenta hacia el eje de la Cuenca del Salado, pasando de 223 m en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, hasta unos 600 m en Gral. Belgrano; en esa dirección la Formación Olivos no se apoya sobre el Basamento, sino que traslapa sobre la Formación Las Chilcas del Terciario inferior (Auge y Hernández, 1984). El ambiente de deposición es continental, eólico y lacustre. La existencia de abundante yeso, permite interpretar una condición de aridez durante su sedimentación.

Es difícil definir con precisión el comportamiento hidrogeológico debido a la escasez de datos, pero se puede inferir que la sección inferior (arenosa) actúa como un acuífero confinado de bajo rendimiento y de alta salinidad (10 a 50 g/l), y que la sección superior (pelítica) es predominantemente acuicluda.

En una perforación en San Isidro se midió el caudal específico del Rojo, alcanzando a 120 l/h por metro de depresión (EASNE, 1972).

La recarga sería alóctona o sus aguas connatas (Sala, 1975).

Basamento Cristalino. Está constituido por rocas metamórficas (gneises) del Precámbrico y rocas plutónicas (granitos) probablemente del Paleozoico inferior, correlacionadas con las que componen las Sierras de Tandil. Dalla Salda (1981) la denominó Formación Martín García por los afloramientos que caracterizan a la isla homónima y por dataciones radioactivas, le asignó una edad del orden de 2.200 millones de años.

Esta unidad no aflora dentro del área estudiada, encontrándose a 432 m de profundidad en la Estación de Cargas Haedo, ascendiendo rápidamente hacia el Norte, ya que en la perforación de Taller y Varadero del Delta se encuentra a 131 m, y aflora en la Isla Martín García y en la costa uruguaya. Inversamente, hacia el eje de la Cuenca del Salado, se profundiza hasta unos 6.000 m en las cercanías de la Bahía de Samborombón, de acuerdo a registros sísmicos para exploración petrolera.

En la Ciudad Autónoma de Buenos Aires y alrededores, las perforaciones que tocaron el Basamento lo hicieron a las siguientes profundidades:

Delta.....	131 m
Olivos.....	245 m
Zoológico.....	291 m
Iglesia La Piedad (Bmé. Mitre y Paraná).....	301 m
Puente Alsina.....	348 m
Est. Cargas Haedo.....	405 m
La Plata.....	466 m

Con respecto al comportamiento hidrogeológico, el Basamento Cristalino constituye la base impermeable del sistema hidrológico subterráneo. Los granitos, gneises y micacitas se comportan como acuífugos, es decir no almacenan ni transmiten agua pues no presentan permeabilidad y porosidad primarias (Hernández *et al*, 1979) y sólo pueden hacerlo en cantidades pequeñas, a través de fisuras, diaclasas o fracturas. En la Tabla 3 se presenta de manera resumida la secuencia hidrogeología de la zona de estudio.

La Cuenca las Catonas presenta una cubierta cenozoica con una posición estratigráfica de tipo subhorizontal, donde alternan depósitos marinos y continentales, que se apoyan directamente sobre el basamento cristalino precámbrico y coincide con el borde NO de la Cuenca Sedimentaria del Salado, mientras que en los sectores centrales y profundos de dicha cuenca, entre la cubierta y el basamento, se emplazan sedimentos mesozoicos y probablemente paleozoicos.

Tabla 3. Secuencia hidrogeológica – Cuenca Las Catonas

	FORMACIÓN					
	POSTPAMPEANO	PAMPEANO	PUELICHE	PARANÁ	OLIVOS	BASAMENTO
Comportamiento hidrogeológico	Acuícludo-acuitardo dominante.	Acuífero de media productividad	Acuífero de alta productividad	Acuícludo en la sección superior y acuífero en la inferior	Acuícludo en la sección superior y acuífero en la inferior	Acuífugo
Espesor (m)	0 a 5	25 a 45	15 a 30	115 (Perforación Est. Haedo)	242 (Perforación Est. Haedo)	S/d
Caudal (m³/h)	S/d	10 a 80	40 a 250	15 a 70	S/d	S/d
Transmisividad (m²/d)	S/d	10 a 315	150 a 1500	S/d	S/d	S/d
Permeabilidad (m/d)	S/d	1 a 10	10 a 50	S/d	S/d	S/d
Salinidad (g/l)	S/d	0,3 a 1	0,5 a 1	3 a 7,5	6 a 40	S/d
Litología	Arcillas y limos arcillosos y arenosos dominantes. Arena subordinada	Limo arenoso loessoide	Arenas medianas y finas.	Arcillas en la sección sup. y arenas arcillosas en la inferior	Arcilitas yesíferas en la sección sup. y conglomerado arenoso en la inferior	S/d
Origen	Marino, fluvial y lacustre	Eólico y fluvial	Fluvial	Marino	Eólico y fluvial	Metamórfico
Edad	Pleistoceno superior Holoceno	Pleistoceno medio – sup.	Plio-pleistoceno	Mioceno superior	Mioceno inferior	Precámbrico

Fuentes: Artaza (1940); Auge (2004); Herman (2003).

Nota: S/d: Sin datos.

IV.2.c.ii. Historia geológica y lineamientos estructurales

La Cuenca Las Catonas se ubica en la provincia hidrogeológica denominada “Llanura Chacopampeana” (Mapa 9), pero como esta zona es de grandes dimensiones, sólo será considerada su evolución geológica en el ámbito de la Provincia de Buenos Aires.

Su historia geológica se inicia en la *Era Arcaica*, con la acumulación de sedimentos, que por procesos de litificación y metamorfismo dieron origen a las rocas más antiguas del país datadas hasta el presente: 2.280 millones de años. Estas migmatitas y gneises, afloran en las Sierras Septentrionales y forman parte del Escudo Brasileño en su extremo austral.

La Llanura Chacopampeana es una planicie, producto del relleno sedimentario de fosas tectónicas, originadas en diatropismos de la *Era Paleozoica*. En el período Cambro-Orodívico se produjo la ingresión Marchaquense, esto es el Océano Pacífico penetró en el continente. Luego, en el Paleozoico Superior (períodos: Silúrico, Devónico, Carbonífero y Pérmico), la cuenca se cerró y comenzó a rellenarse con detritos provenientes de elevaciones próximas. Se acumularon cuarcitas, pelitas y calizas marinas discordantemente sobre las rocas precámbricas (Frenguelli, 1950). El espesor alcanzado por este relleno a lo largo del tiempo geológico es variable en 4a

Provincia de Buenos Aires, ya que en la zona de estudio alcanza 432 m (Estación de Cargas Haedo) y en la Cuenca Sedimentaria del Salado (Bahía Samborombón) supera los 6.000 m. La variación en los espesores y los caracteres morfológicos en la cuenca, han sido consecuencia del predominio de los movimientos subsidentes (Frenguelli, 1950), produciendo una gran fosa tectónica.

La Provincia de Buenos Aires se caracteriza por una tectónica de bloques con un rumbo dominante NO – SE y fallas directas escalonadas y transcurrentes, con planos de alto ángulo que inclinan hacia el centro de la cuenca sedimentaria del Salado (Auge y Hernández, 1984). Este fallamiento de origen tensional, afecta en forma escalonada al Basamento y a entidades cretácicas, disminuyendo en intensidad en las unidades terciarias y haciéndose imperceptible a partir de las Arenas Puelches, que no presentan signos de fallamiento y por tal motivo adoptan una marcada posición subhorizontal. Por lo tanto la tectónica no incide en el comportamiento hidrogeológico de los acuíferos más importantes del NE de la Provincia de Buenos Aires, el Pampeano y el Puelche (Auge, 1997a).

Además se produjo un marcado traslapamiento lateral a partir del eje de la Cuenca Sedimentaria del Salado, de las entidades más modernas sobre las más antiguas. Esto puede verificarse en sus bordes, como sucede en Buenos Aires, La Plata y Magdalena, donde sobre el Basamento Cristalino, se apoya directamente El Rojo, faltando el Terciario Inferior y el Cretácico. Hacia el centro de la cuenca, El Rojo se sobrepone a la Formación Las Chilcas del Terciario inferior y sobre el Basamento se dispone el Cretácico (Formaciones Río Salado y Gral. Belgrano), probablemente subyacido por sedimentitas paleozoicas (Auge y Hernández, 1984).

Un evento diastrófico post Olivos – pre Paraná, ligado con el inicio de los movimientos epirogénicos del Mioceno, reactivó las fracturas y provocó subsidencia permitiendo la transgresión Parania del Mioceno medio – superior (Yrigoyen, 1975).

Por ascenso del continente y retroceso del mar, los depósitos paranianos fueron cubiertos en el Plioceno por arenas cuarzosas de origen fluvial (Formación Puelches). Luego en el Pleistoceno se acumula el Pampeano por acción eólica y fluvial de baja energía. Al término de dicha sedimentación, comienza a desnudarse el terreno y se establecen los cursos de agua más importantes de la Provincia de Buenos Aires, como los ríos Reconquista, Luján, Salado, Samborombón y Matanza.

Por último en el Holoceno, los cambios en el nivel del mar durante los períodos glaciales e interglaciales permitieron el avance y retroceso del mismo, situación que quedó registrada en la zona costera entre la Ciudad de Buenos Aires y la Bahía Samborombón. Estas ingresiones, que normalmente no superan la cota topográfica de 10 m, fueron mucho menos importantes que la Parania, pero ejercen un notable control en la salinidad de los acuíferos Pampeano y Puelche.

IV.2.d. Edafología

El suelo es un componente fundamental del ambiente, que hace posible el crecimiento de las plantas y con éste, la vida en el planeta.

Procesos de erosión, salinización, arado y contaminación entre otros, provocan la degradación del suelo. Un desarrollo sostenible debe basarse en una utilización de los suelos que eviten su deterioro, ya que estos son un recurso natural no renovable o muy difícil y costoso de renovar.

Los factores principales en la formación del suelo son: la roca madre, la topografía, la vegetación, el clima y el tiempo:

- En cuanto a la *litología*, el suelo se forma por meteorización de rocas y sedimentos y la acumulación de materia orgánica. Hay centenares de especies minerales que pueden encontrarse en el suelo y su distribución en la superficie es muy variada. Estos distintos minerales se diferencian en su composición química y en su velocidad de meteorización. La variación en la distribución del tamaño de partículas afecta a la capacidad de retención de agua, a la aireación y a otras propiedades físicas, mientras que la composición química refleja su fertilidad.

Como ya se ha expuesto, el material geológico presente en la cuenca de estudio es un espeso manto de sedimentos de edad Cuaternaria que se denomina Loess Pampeano (INTA, 1990). Éste es de origen eólico y fluvial de baja energía, de tonalidad castaña, no consolidado, compuesto por partículas de tamaño limo con fracciones subordinadas de arcilla y arena, y cantidades variables de carbonato de calcio. Es poroso, no estratificado y tiene la particularidad de mantenerse estable en paredes verticales, debido a la elevada proporción de vidrio volcánico.

- La *topografía* en la que se desarrolla el suelo afecta muy notablemente a sus propiedades. La zona de estudio, por ser bastante llana, presenta suelos bien desarrollados y profundos.

- La clase de *vegetación* que se desarrolla en un suelo afecta a la forma de distribución de la materia orgánica. En la Cuenca Las Catonas, la flora original ha sido modificada por la acción del hombre, mediante cultivos y ganado fundamentalmente.

- El *clima* influye de un modo decisivo en las propiedades del suelo. En climas húmedos y cálidos, la meteorización es rápida y el arrastre por lixiviación más rápido. Si el suelo se ha formado en climas fríos, el ataque por agentes externos es más lento y el contenido en materia orgánica es mayor, debido a que en invierno, cuando el suelo está helado, no tiene lugar una descomposición apreciable de la materia orgánica.

Todos estos cambios que ocurren en el suelo requieren mucho tiempo; en la zona de estudio el tiempo transcurrido para la formación de los suelos ha sido datado en unos 3.500 años.

Los **Molisoles** son suelos básicamente negros a pardos, donde los residuos vegetales y su mezcla con la parte mineral genera, en el transcurso del tiempo, un proceso de oscurecimiento por la incorporación de materia orgánica que se refleja en la parte superficial (Horizonte A), lo que se denomina **epipedón mólico**. Las propiedades que caracterizan a los Molisoles son la estructura granular o migajosa que facilita el movimiento de agua y aire y la predominancia del catión calcio en el intercambio catiónico, favoreciendo la fluctuación de los coloides y la moderada a alta capacidad de intercambio y la elevada saturación con bases (Moscatelli *et al*, 1990).

En la cabecera de la cuenca, los suelos presentan un perfil más profundo, bien drenado, con un horizonte superficial potente y materia orgánica que pasa gradualmente a horizontes de iluviación de textura arcillosa de moderado espesor dando por resultado a los **Argiudoles típicos** (Etchevehere, 1975). Estos suelos presentan una secuencia de horizontes A, B y C bien diferenciados.

El horizonte superior tiene una textura franco-limosa, bien provisto de materia orgánica (entre 2 y 4 %), con alta capacidad de intercambio y con moderadas posibilidades de infiltración. El horizonte B es más potente, tiene textura franco-arcillo-limosa y estructurado en forma de prismas.

Hacia el Este la proporción de partículas finas se incrementan de tal forma que el espesor del horizonte iluvial adquiere mayor potencia y actúa como barrera impidiendo la libre infiltración de las aguas con probable existencia de algunos rasgos de intrazonalidad observados en el perfil, dominando el tipo **Argiudol vértico** (Moscatelli *et al*, 1990). Esta evolución se refiere a toda la Provincia de Buenos Aires.

Los suelos han tenido mayor evolución en los sectores más altos, que coinciden con las divisorias de aguas. Las condiciones climáticas son importantes por cuanto un periodo largo de exceso de agua, asegura una óptima humedad en todo el perfil, favoreciendo los procesos de alteración química, necesarios para la generación de nutrientes. Además permite efectuar doble cultivo en gran parte de las región. Desde el punto de vista agrícola los más utilizados para fines hortícolas y cultivos de flores son los Argiudoles típicos (Cappannini y Mauriño, 1996).

En las cercanías de los cauces, los suelos presentan características intrazonales, debido a su posición dentro del relieve. Al estar expuestos a numerosas inundaciones por desborde fluvial y ascenso del agua freática, su evolución es muy pobre. Generalmente se desarrollan a partir del limo del Pampeano inferior, aunque en algunos sectores lo hacen a partir del superior. Las escasas posibilidades de drenaje, se manifiestan por la presencia de horizontes gleyzados debido a los ascensos continuos del nivel freático. Las características de intrazonalidad son notables con predominio de procesos de reducción.

Si bien las lluvias lavan las sales superficiales, éstas se concentran en profundidad condicionando su utilidad, por lo que se los destina más a la ganadería que a los cultivos.

Los Argiudoles suelen estar asociados, en las áreas bajas encharcables, a suelos lavados, algo hidromórficos y sódicos con o sin epipedón mólico (**Argiudoles ácuicos, Natrauoles y Natracualfes típicos**), o bien a suelos con horizonte álbico no sódicos, provistos de un horizonte A2 de eluviación, algo lavados (**Argialboles típicos**) (Moscatelli *et al*, 1990).

El uso agrícola intensivo y la textura limosa del horizonte superficial suele producir encostramiento y densificación en la porción arable, que limitan la productividad y favorecen el escurrimiento y la erosión. La agricultura sin criterios conservacionistas, provoca un deterioro químico, puesto que la extracción de bases ocasiona una paulatina acidificación de los suelos.

En la zona de cabecera de la cuenca estudiada predomina la aptitud agrícola intensiva con Molisoles y Argiudoles típicos, de estructura granular, que facilitan la infiltración y por ende la recarga y el intercambio iónico. El horizonte A, con buen desarrollo en los sectores medios y altos de la cuenca, con alto contenido de materia orgánica, facilita la incorporación de sustancias en solución debido a la fuerte actividad microbiológica, que genera una elevada presión de CO₂. El agua con CO₂ disuelto, aumenta considerablemente su capacidad de disolución frente a la mayoría de los minerales y compuestos sólidos (ej. silicatos y carbonatos de calcio). También produce bicarbonatos e hidrogeniones.

El horizonte A con abundante materia orgánica, también actúa como filtro natural muy efectivo respecto a la movilidad de numerosos contaminantes. En el caso de los metales pesados, estos son retenidos por el C de la materia orgánica, evitando que alcancen el agua freática. Del mismo modo, muchos hidrocarburos son degradados por la actividad biológica que caracteriza al horizonte A; los plaguicidas organoclorados también son retenidos por las partículas arcillosas del mismo horizonte.

Otro proceso generado fundamentalmente en el horizonte B, es el ablandamiento natural del agua infiltrada, que de cálcica pasa a sódica al quedar fijado el calcio en la estructura cristalina de la arcilla, mientras el sodio pasa a la solución.

Por lo tanto, la alta capacidad de absorción que tiene el horizonte A del suelo arado y el adecuado índice de infiltración que presenta el horizonte B y el sedimento madre (Loess Pampeano), derivan en un suelo apto para el riego intensivo, en un amplio sector de la zona de estudio, particularmente en la cabecera de la cuenca.

IV.3. Configuración y estructura geográfica

En cuanto a la configuración geográfica, la cuenca es considerada periurbana (zona de transición entre el campo y la ciudad), por lo que se hallan representados los usos urbano, rural e industrial.

En lo que respecta a la estructura, se la puede identificar como parcialmente aglomerada debido a que presenta zonas extensas sin edificación. Esto puede observarse en el Mapa 10 de radios censales¹¹ del año 2001 (INDEC). En el Mapa 11 se superponen los radios definidos en los censos de los años 1991 y 2001 (INDEC) y se establece cuáles fueron los que crecieron (dividieron) en ese período de 10 años, observándose que el patrón de crecimiento de radios más alto corresponde con aquellos involucrados a los cursos de agua; con referencia al número, en el año 1991 los radios censales eran 153, mientras que en el último censo fueron de 325.

IV.4. Aspectos socioeconómicos

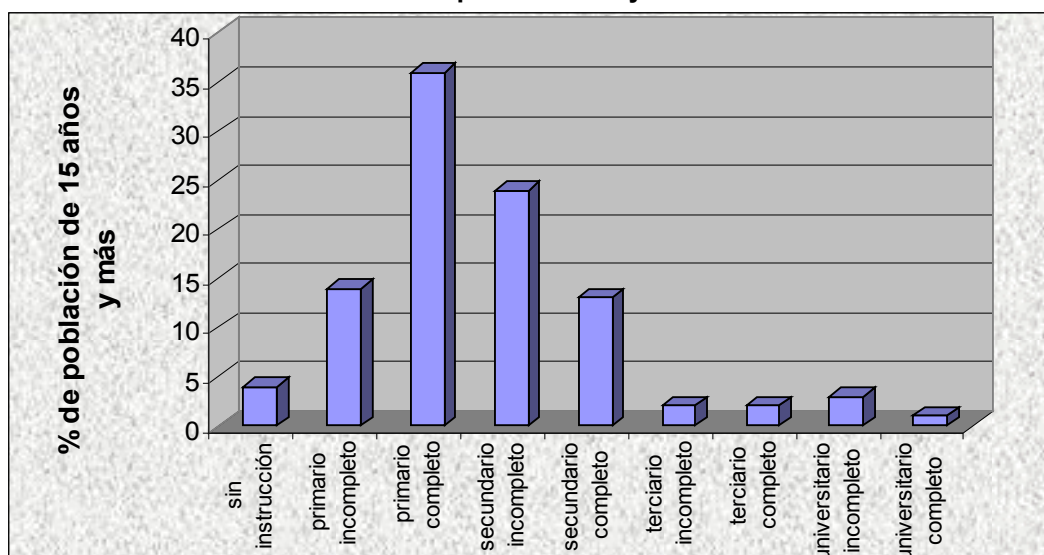
Dos de los partidos sobre los cuales se extiende la cuenca, forman parte del AMBA, territorio en el cual se efectúa la Encuesta Permanente de Hogares (EPH) que realiza el INDEC, para evaluar periódicamente la situación socioeconómica de la población. De acuerdo a ese estudio se ha categorizado a los distintos partidos que la conforman en cuatro niveles; en particular, los Municipios Moreno, San Miguel y José C. Paz forman parte del GBA4 (Gran Buenos Aires nivel 4) por presentar los valores más altos en cuanto a la desocupación (más del 20%), tasa de demandantes de empleo (45,7%), tasa de subempleo horario (15,8%), asalariados sin jubilación (45%) y el menor porcentaje de asalariados con calificación profesional (1,9%) (INDEC, 1997) (Mapa 12).

De acuerdo con el Censo realizado por el INDEC (2001), regionalmente el Partido de Moreno (al cual corresponde prácticamente toda la cuenca), presenta el porcentaje de población con NBI más elevado (junto con otros pocos partidos de la RMBA) (Mapa 13).

Nivel educativo. En cuanto al nivel educativo, en Moreno el 5,6 % de la población mayor de 30 años nunca asistió a un establecimiento educativo. En el Gráfico 2 se muestran los máximos niveles educativos alcanzados por la población mayor de 15 años del Partido. Los datos revelan que más de un tercio de la población no alcanzó a completar los estudios secundarios y sólo un pequeño porcentaje (3%) finalizó los estudios terciarios o universitarios.

¹¹ El radio censal es un recorte espacial que contiene aproximadamente 300 viviendas y que preserva una unidad característica socioeconómica en su interior.

Gráfico 2. Nivel de instrucción de la población mayor de 15 años - Partido de Moreno



Fuente: Martín, 2004.

En el Partido de Moreno existe una gran demanda de los establecimientos educativos estatales en todos los niveles, los que agrupan al 81% de la matrícula mientras que el porcentaje restante asiste a instituciones privadas.

Infraestructura urbana. La infraestructura urbana está relacionada con la provisión de los servicios básicos (agua, cloacas, energía eléctrica, gas, transporte, recolección de residuos, etc.), que influyen de manera directa sobre la salud y calidad de vida de la población.

Al igual que en el resto del Conurbano, en la zona estudiada se registró altas tasas de incremento poblacional entre las décadas del 60 y 80, inducido en su mayoría por el arribo de población rural que se vio atraída por el crecimiento industrial. Esto significó una demanda habitacional muy alta que el Municipio no estaba en condiciones de resolver. Así surgieron los loteos populares promovidos por agentes privados. La localización de los loteos quedó exclusivamente en manos de los operadores privados, dando como resultado una urbanización en islas inconexas que dificulta enormemente la provisión y el acceso a los servicios (Hardoy *et al*, 2005.). Dado las áreas con baja densidad poblacional, el costo de garantizar la provisión de los servicios a los habitantes es relativamente mayor en comparación con las áreas urbanas densamente pobladas.

A los fines de este trabajo se estudian las características de los servicios de provisión de agua y cloacas, ambos con una escasa cobertura en la cuenca en estudio. También es relevante analizar las condiciones habitacionales de la población.

Un relevamiento realizado en el año 2001 por el IIED-AL (Hardoy *et al*, 2005) muestra que en su mayoría estos sectores sólo acceden a la primeras napas de agua, con altos niveles de contaminación, y utilizan pozos absorbentes sin cámara séptica que rebalsan, vertiendo los efluentes domiciliarios directamente en las zanjas.

Agua corriente. La extensión de las redes de provisión de agua en la cuenca, por parte de la concesionaria AGBA S.A. es relativamente pequeña en relación con su superficie (Mapa 14). Asimismo también existen otras redes de abastecimiento de agua que corresponden a sistemas autónomos (cooperativas vecinales). Todas las redes reciben agua del Acuífero Puelche.

Las viviendas que no acceden al agua por red se abastecen a partir de perforaciones domiciliarias de diversas características (profundidad, antigüedad, tipo de bomba y presencia de encamisado)¹².

Cloacas. La red cloacal provista por AGBA S.A. es aún menos extensa que la de agua potable, también se ubica en la zona central de Moreno y como puede observarse es inexistente dentro del área de la cuenca (Mapa 14). La mayoría de las viviendas situadas en este área evacúan las excretas en pozos ciegos, que en el mejor de los casos cuentan con cámara séptica. Sin embargo también existen redes comunitarias (no son abastecidas por un servicio centralizado).

Viviendas. Se visualiza una heterogeneidad en el área de estudio en cuanto a las condiciones habitacionales debido a que, así como hay asentamientos muy precarios, también se localizan barrios privados, donde las condiciones de las viviendas son óptimas a pesar que no cuentan con dos de los servicios básicos (agua y cloacas).

Un dato importante que proporciona el Censo 2001 es que alrededor del 32% de las viviendas del Partido de Moreno carece de agua en la cocina, y ese valor es cercano al porcentaje de viviendas que no cuenta en el baño con un sistema de descarga de agua para la limpieza del inodoro. Esto indica que aproximadamente 30.000 familias no tienen la instalación de agua dentro de la vivienda (esta cifra incluye a los hogares que no poseen un sistema de captación de agua dentro del terreno de su propiedad). El Mapa 15 muestra el porcentaje de hogares por radio censal que no cuentan con tuberías para distribuir el agua en el interior de la vivienda.

Salud. Se localizan diversos centros de salud: el Hospital Provincial Luciano y Mariano de la Vega (ubicado en el centro de Moreno), centros de asistencia primaria (situados de manera dispersa en relación con la densidad poblacional) y clínicas y consultorios de atención médica privada. Del total de centros de asistencia primaria, 20 se localizan en la cuenca (Mapa 16).

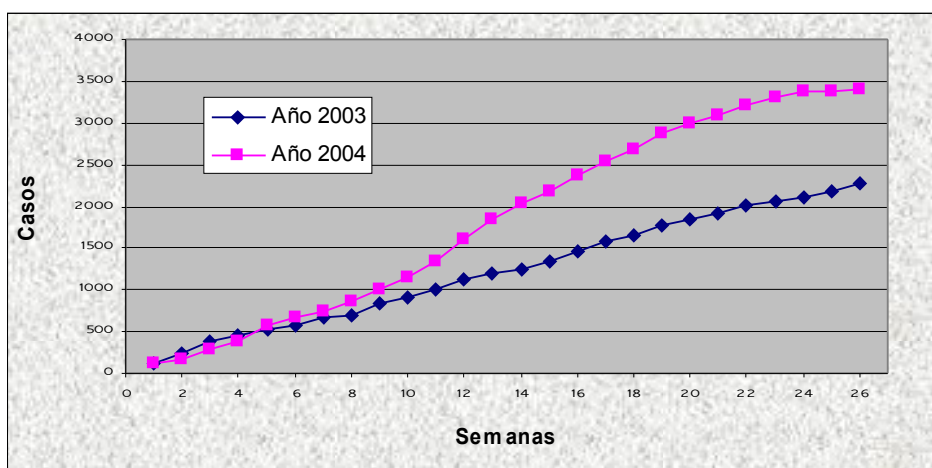
El Censo 2001 reveló que aproximadamente el 65% de los habitantes de Moreno no cuenta con un plan de cobertura médica (Mapa 17). Del porcentaje restante, sólo un 4% de la población son adherentes a algún plan privado y el resto posee cobertura a través de las obras sociales.

¹²En la Sección V.2.a.i. se analiza cómo se abastece la población.

Durante el período 1999 - 2001 se registró en el Municipio de Moreno una tasa de mortalidad infantil¹³ de 19‰, uno de los valores más altos relevados en los partidos de la RMBA. Debe considerarse también que la población del partido presenta una proporción mayor de menores que en el total de la Región (Fundación Banco de la Provincia de Buenos Aires, 2003).

Los Partidos de Moreno, José C. Paz y San Miguel son algunos de los municipios de la RMBA que registran una mayor cantidad de casos de enfermedades de origen hídrico, como diarrea, gastroenteritis, parásitos intestinales y hepatitis A (Fritzsche y Reboratti, 2002). Un médico perteneciente al sector de epidemiología del Hospital de Moreno manifestó su preocupación por el incremento de los casos de diarrea durante los meses transcurridos de 2004 en relación con los registrados en 2003 (Gráfico 3).

Gráfico 3. N° de casos acumulativos de diarrea registrados en el Municipio de Moreno. 2003 - 2004



Fuente: Elaborado en base a datos suministrados por el Área Epidemiología, Municipio de Moreno.

¹³ La tasa de mortalidad infantil es el cociente entre el número de muertes de menores de un año y los nacidos vivos en el mismo territorio durante un período determinado.

V. Materiales, metodología y resultados

V. 1. Información base

Para poder llevar a cabo este trabajo de investigación, se precisó en primer lugar generar información base, indispensable para comenzar con el análisis y estudio de los objetivos propuestos; a continuación se detalla cómo y cuáles actividades se desarrollaron.

V.1.a. Delimitación de cuenca y subcuencas

La Cuenca Las Catonas y sus subcuencas se determinaron manualmente, considerando la divisoria de aguas, en base a las cartas topográficas del IGM 1:50.000 de Moreno (3560–12–3) y Campo de Mayo (3560–12–4).

Para la delimitación de las unidades hidrográficas, se consideraron las siguientes etapas:

1. la identificación de la red de drenaje superficial y la realización de un esbozo muy general de la posible delimitación;
2. que la divisoria cortara perpendicularmente a las curvas de nivel, pasando por los puntos de mayor nivel topográfico;
3. que cuando la divisoria iba aumentando su altitud cortara a las curvas de nivel por su parte convexa;
4. que cuando la altitud de la divisoria iba decreciendo cortara a las curvas de nivel por la parte cóncava;
5. y por último que la divisoria nunca cortara un curso de río.

Asimismo se tuvo en cuenta:

- que toda línea divisoria de una unidad hidrográfica se desplazara siempre entre dos curvas con igual valor de cota, y que
- la divisoria pasara por los puntos de mayor nivel topográfico, es decir, que la línea divisoria uniera los puntos con mayores valores de altitud.

Luego toda esta información se digitalizó en soporte SIG con el programa ILWIS 3.0.

De esta manera se delimitó la Cuenca Las Catonas y subdividió en 12 subcuencas delimitadas fundamentalmente por los usos de suelo dominantes: 5 pertenecientes a la cuenca alta (A1 – A5), 3 a la cuenca media (M1 – M3) y 4 a la cuenca baja (B1 – B4) (Mapa 18).

V.1.b. Digitalización de los cursos de agua

En primer lugar se georreferenciaron las 12 fotos aéreas¹⁴ que abarcan la zona de estudio. Luego, se procedió al armado del “mosaico” de dichas fotos. Posteriormente, se chequearon a campo las coordenadas geográficas, utilizando un Global Positioning System (GPS)¹⁵. Finalmente, se digitalizaron los cursos de agua (Mapa 19).

Tanto la georreferenciación de las fotos áreas, como el armado del mosaico y la digitalización de los cursos de agua se realizaron con el programa ERDAS Imagine 8.4.

V.1.c. Clasificación de los usos de suelo

El estudio de este aspecto es muy importante porque el uso que se ejerce sobre la cuenca, determina en gran medida el impacto y las consecuencias sobre el estado del recurso hídrico. Asimismo, con referencia a las inundaciones, su magnitud y frecuencia están fuertemente condicionadas por el uso del suelo, dado que se verifica una alta correlación entre el aumento de las inundaciones en función del porcentaje de suelo urbano que está cubierto por techos, pavimentos y cemento (la cubierta impermeable) y el porcentaje de área servida por drenajes pluviales (Keller, 1996).

Aplicando conocimientos de Teledetección, en base a dos procesos de interpretación, se individualizaron los principales patrones de usos del suelo en la cuenca.

Procesamiento visual: se efectuó el análisis visual de las imágenes satelitales¹⁶ y del mosaico fotográfico y por cambios en los tonos, colores, formas y tamaños se reconocieron los diferentes usos del suelo. Los mismos son: urbano, rural, agropecuario y vías de comunicación.

Procesamiento automático: se utilizó el programa ERDAS y dentro del mismo, se trabajó con el módulo Data Preparation, Unsupervised Classification obteniendo las clases de usos del suelo similares a las obtenidas en el proceso visual.

Luego se corrigió la ubicación de puntos de control de la imagen con salidas de campo, utilizando el GPS.

Finalmente, como resultado de la interpretación de las imágenes satelitales, de las fotos aéreas y del reconocimiento a campo, se identificaron los siguientes usos del suelo (Mapa 20):

¹⁴ Ministerio de Obras y Servicios Públicos de la Pcia. de Buenos Aires, Dirección de Geodesia de La Plata, vuelo 0396.

¹⁵ Modelo Navegador Personal, Garmin.

¹⁶ Ceditas por la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE), Sensor Landsat 7TM, N° de imagen 225-084.

A) Áreas urbanas:

a.1. Uso Urbano. Se reconocen tres clases de usos: urbano exclusivo, suburbano dentro del que se encuadra el tejido marginal y el correspondiente a urbanizaciones cerradas. El desarrollo de estas dos últimas se plantea a continuación:

Tejido informal. Los principales asentamientos precarios, marginales o villas de emergencia de la cuenca se localizan en su mayoría en zonas bajas, inundables, en tierras fiscales y en terrenos usurpados.

Urbanizaciones cerradas. El crecimiento de las áreas metropolitanas fue precedido por el tendido de la red ferroviaria, que históricamente fue delineando la implantación de asentamientos poblacionales en torno a la misma. En una segunda etapa los medios masivos de transporte, el parque automotor privado, la reformulación de la red de autopistas y la pavimentación de las rutas provinciales y nacionales, convirtieron al área metropolitana en un lugar adecuado para el desarrollo residencial.

Este crecimiento tuvo que ver con la cercanía a la Ciudad Autónoma de Buenos Aires a través de las autopistas que la vinculan en poco tiempo, permitiendo la combinación del trabajo en el centro del área metropolitana y la residencia en sitios más alejados de la contaminación ambiental de la ciudad, los problemas crecientes de inseguridad, el deterioro de la oferta de servicios comunitarios en Buenos Aires, entre los factores más importantes.

a.2. Uso industrial discontinuo. Los establecimientos industriales se ubican principalmente en las zonas urbanas y en las proximidades de las vías de comunicación (rutas y ferrocarril). Realizan actividades dentro de los siguientes rubros: plástica, metalúrgica, alimenticia, química, construcción, cosméticos, maderera, entre los más importantes. Este punto será desarrollado en la Sección V.4.b.i.

a.3. Comercial y de transportes. Los principales usos comerciales se encuentran en las proximidades a los centros urbanos y las intersecciones de las vías de acceso más importantes de la cuenca como el Acceso Oeste y sobre las rutas provinciales 23, 24 y 25.

B) Áreas agropecuarias:

b.1. Tierras arables¹⁷ de secano¹⁸ dedicadas a la agricultura y ganadería. Comprende una pequeña porción localizada en la intersección de las Rutas 24 y 25, luego en Ruta 25 y afluente sin nombre del Arroyo Las Catonas y otro predio entre éste y el A° Los Perros.

b.2. Tierras arables bajo riego dedicadas a la florihorticultura. Abarca una porción extendida por la Ruta 24 hasta el límite con el Municipio de San Miguel y algunos sectores dispersos entre las Rutas N° 23 y 25 y el límite con el Partido de San Miguel y con José C. Paz en el A° Pinazo.

¹⁷ Tierras ocupadas por cultivos herbáceos (comprenden un gran número de cultivos anuales de primera importancia, como son el trigo, la cebada, el maíz, el centeno, el girasol, los guisantes, etc.).

¹⁸ El cultivo de secano utiliza plantas resistentes a la sequía.

b.3. Rural de transición. Son áreas rurales que están abandonando sus usos agropecuarios y están siendo incorporadas paulatinamente a usos urbanos.

C) Bosques y áreas semi-naturales:

c.1. Espacios verdes naturales. Hay un alto porcentaje de espacios verdes naturales asociados a algunos tramos de los arroyos que integran la Cuenca La Catonas.

D) Cursos de agua:

d.1. Cuenca Las Catonas. El sistema primario está representado por el curso principal: el A° Las Catonas, localizándose sus cabeceras en el partido de Gral. Rodríguez y desaguando en el Río Reconquista. El sistema secundario está compuesto por sus afluentes, siendo los más importantes el A° Los Perros y Cañada Las Catonas.

V.1.d. Homologación de radios censales a la unidad espacial “subcuenca”

La necesidad de disponer de variables del Censo Nacional de Población, Hogares y Vivienda (INDEC, 2001), planteó integrar cartografía por radio censal a cartografía a nivel de subcuencas. Para ello se utilizó la herramienta Geoprocessing Wizard del Programa ArcView (ESRI, 1992). En aquellos casos donde el límite de la subcuenca particiona al radio censal, se asignó proporcionalmente el valor de la variable, considerando la participación de la superficie del radio particionado en dicha subcuenca.

Retomando el concepto de *riesgo poblacional humano en relación al recurso hídrico o riesgo hídrico poblacional* humano discutido y definido en la Sección II.3 de este trabajo, como: *aquel evento (inundación por desborde de ríos, precipitación intensa y anegamiento, deterioro en la calidad y cantidad del agua superficial y subterránea, etc.), que tenga como elemento eje al recurso agua y que impacte directa o indirectamente sobre algún/os o todos los aspectos que conforman el bienestar íntegro de la población (salud, bienes materiales, economía, actividades productivas y culturales);* asumiendo que para poder cuantificar ese riesgo es imprescindible estudiar los procesos que ponen en peligro a la población (*amenazas*), como así también los socioeconómicos (*vulnerabilidad social*), se procede en las Secciones V.2 a V.4 a la determinación de subcuencas con diferente riesgo hídrico poblacional, debido a la contaminación del recurso hídrico subterráneo y superficial e inundaciones.

V. 2. RECURSO HÍDRICO SUBTERRÁNEO

Para el estudio del recurso hídrico subterráneo (única fuente de abastecimiento de agua para consumo en la Cuenca Las Catonas), se plantea la *hipótesis* que el grado de vulnerabilidad social frente a la contaminación de los acuíferos, depende de las formas de acceso al recurso, de las vías de disposición de excretas y de la densidad poblacional¹⁹. Luego, el *objetivo específico* es la cuantificación de subcuencas según el riesgo poblacional dado por la contaminación del recurso hídrico subterráneo.

Para llevar a cabo este estudio, se determinan y analizan los índices de vulnerabilidad social y los de amenaza.

V.2.a. Indicadores de *vulnerabilidad social* en relación a la contaminación hídrica subterránea

Mediante la elaboración de un sistema de indicadores de referencia, se definen índices de vulnerabilidad social basándose en la fuente predominante de captación del recurso, la vía de disposición de excretas y la densidad poblacional. Cada una de estas variables es analizada por subcuenca, representada en un mapa, donde colores más oscuros significan subcuencas más vulnerables. De esta manera se obtienen tantos mapas, como variables a analizar. Luego, en la siguiente Sección (V.2.b.), todos estos resultados se superponen en un único mapa, que da cuenta del estudio integral de la vulnerabilidad social frente a la contaminación hídrica subterránea.

¹⁹ No se analizan las condiciones de NBI por estar éstas implícitas en las formas de captación del recurso y de disposición de excretas.

V.2.a.i. Fuente de captación del recurso y vía de disposición de excretas

Este ítem es clave para el análisis de la vulnerabilidad de la población respecto al recurso hídrico subterráneo. Para ello, se pretende dar cuenta de los siguientes indicadores de referencia "*Vulnerabilidad social por subcuenca dada por la fuente de captación del recurso*" y "*Vulnerabilidad social por subcuenca dada por la vía de disposición de excretas*".

La fuente de captación de agua subterránea de donde se abastecen los diferentes sectores de la población establecida en la Cuenca Las Catonas, se infiere a partir de las formas de acceso al recurso, en base a los datos del Censo provistos por el INDEC (2001). De esta manera, para aquellas personas que manifestaron obtener agua a través de red pública o mediante bomba a motor en perforación profunda, la autora asume que captan del Acuífero Puelche, mientras que si emplean bomba manual o a motor en perforaciones someras, se considera lo estarían haciendo del Acuífero Pampeano. Estas inferencias fueron corroborados mediante la realización del relevamiento de campo efectuado por la autora durante los años 2003 y 2004.

A partir de los datos del censo (INDEC, 2001), se realizaron las siguientes agrupaciones respecto a la forma de captación del agua²⁰:

- a través de red,
- con bomba a motor en perforación profunda,
- con bomba manual o a motor en perforación somera.

Como se disponía del censo realizado hace 10 años (INDEC, 1991), los datos del 2001 se llevaron a la unidad espacial (radios) de 1991, esto con el fin de poder realizar comparaciones entre períodos intercensales. Pueden observarse dos procesos: uno es el pasaje del empleo de bomba manual a bomba a motor (Mapa 21 y Mapa 22), lo que demuestra una consolidación de las áreas en lo que a mejoramiento de servicios de vivienda se refiere (tecnología de captación de agua); y el otro proceso que se observa es que en aquellas áreas con mayor déficit habitacional, se reemplazaron los sistemas de captación domiciliaria por sistemas autónomos o desvinculados de la concesión (Mapa 23).

Luego, las vías de disposición de aguas servidas se agrupan en base al censo (INDEC, 2001), en tres categorías:

- a través de red,
- a pozo ciego con cámara séptica,
- a pozo ciego u hoyo sin cámara séptica.

Es importante aclarar respecto a las redes, que no sólo se consideran a las abastecidas por la concesión (AGBA S.A.), sino a los sistemas de agua y/o cloaca

²⁰ Es importante señalar que los datos que brinda el censo de "disponibilidad y distribución del agua" fueron agrupados en esas tres categorías, dado que para los fines de este trabajo no interesa discriminar si la gente tiene la fuente de captación de agua en su propia vivienda y/o terreno, sino lo que interesa es cómo la obtiene.

denominados "sistemas autónomos o desvinculados", incorporados por conjuntos urbanizados (formales e informales).

Para dar cuenta de los indicadores de referencia por subcuenca *Vulnerabilidad social dada por la fuente predominante de captación del recurso* y *Vulnerabilidad social dada por la vía predominante de disposición de excretas*, se agruparon estas dos variables en términos relativos (%):

- hogares que captan agua a través de red /total de hogares;
- hogares que captan agua a través de bomba motor en perforaciones profundas/total de hogares;
- hogares que captan agua a través de bomba manual o a motor en perforaciones someras/total de hogares;
- hogares que descargan las excretas a través de red/total de hogares;
- hogares que descargan las excretas a través de pozo ciego con cámara séptica/total de hogares y
- hogares que descargan las excretas a través de pozo ciego u hoyo sin cámara séptica/total de hogares.

El análisis de estas dos variables refleja las condiciones socio habitacionales de la población, dado que tecnologías de captación y de disposición más seguras implica una mayor inversión monetaria.

A partir de los porcentajes obtenidos se definieron para cada variable cinco categorías consistentes entre subcuencas, mediante el método de optimización de Jenks. Este método detecta umbrales entre las clases, buscando agrupamientos y patrones inherentes a los datos; el procedimiento para separar las distintas clases dentro de una serie de datos, se basa en la maximización de la bondad de ajuste de la varianza, $\max BAV = (DCMT - DCMC) / DCMT$, donde $DCMT = \sum (x_i - \bar{x})^2$, siendo la media de los valores totales y $DCMC = \sum (x_i - Z_0)^2$, donde Z_0 es la media de los valores en cada subgrupo (Jenks, 1977).

En la Tabla 4 y **Tabla 5**, se muestran los valores obtenidos y los índices determinados para cada subcuenca analizada.

Es importante señalar que para el caso de la captación mediante bomba manual o a motor en perforación somera, se considera el peor índice (más elevado), cuanto mayor cantidad de gente emplea este mecanismo, invirtiéndose para los otros dos casos (red o bomba motor en perforación profunda).

Tabla 4. Fuente de captación del recurso agua

Variable	Subcuenca	Valor variable (%)	Índice (2)
A través de red (1)	A1	4	5
	A2	1	5
	A3	3	5
	A4	1	5
	A5	10	4
	M1	5	5
	M2	4	5
	M3	51	1
	B1	17	3
	B2	54	1
	B3	6	5
	B4	9	4
	A través de bomba a motor en perforación profunda	A1	30
A2		59	1
A3		27	3
A4		10	5
A5		30	3
M1		42	2
M2		18	4
M3		11	5
B1		43	2
B2		16	4
B3		52	1
B4		43	2
A través de bomba manual o a motor en perforación somera		A1	3
	A2	6	5
	A3	2	2
	A4	1	1
	A5	2	2
	M1	4	4
	M2	2	2
	M3	1	1
	B1	5	5
	B2	1	1
	B3	4	4
	B4	4	4

Notas:

(1): redes de AGBA S.A. y "sistemas autónomos o desvinculados"; (2): valores menores indican mayor porcentaje de hogares que captan agua de manera más segura frente a la contaminación.

Los rangos establecidos para delimitar los índices de acceso al agua a través de bomba manual o a motor en perforación somera, se calcularon mediante el método de optimización de Jenks (Jenks, 1977) (Mapa 24):

- 1 = 1 - 1,9 %;
- 2 = 2 - 2,9 %;
- 3 = 3 - 3,9 %;
- 4 = 4 - 4,9 %;
- 5 = 5 - 6 %.

Los rangos establecidos para delimitar los índices de acceso al agua a través de bomba a motor en perforación profunda, se calcularon mediante el método de optimización de Jenks (Jenks, 1977) (Mapa 25):

- 5 = 1 - 11 %;
- 4 = 11,1 - 18 %;
- 3 = 18,1 - 30 %;
- 2 = 30,1 - 43 %;
- 1 = 43,1 - 59 %.

Los rangos establecidos para delimitar los índices de acceso al agua a través de red, se calcularon mediante el método de optimización de Jenks (Jenks, 1977) (Mapa 26):

- 5** = 1 - 6 %;
- 4** = 6,1 - 10 %;
- 3** = 10,1 - 17 %;
- 2** = 17,1 - 50 %;
- 1** = 50,1 - 54 % .

Tabla 5. Vía de disposición de excretas

Variable	Subcuenca	Valor variable (%)	Índice (2)
A través de red (1)	A1	0	5
	A2	1	4
	A3	0	5
	A4	0	5
	A5	1	4
	M1	2	3
	M2	0	5
	M3	1	4
	B1	5	1
	B2	3	2
	B3	4	1
	B4	0	5
A través de pozo ciego con cámara séptica	A1	24	3
	A2	43	1
	A3	18	4
	A4	7	5
	A5	23	3
	M1	23	3
	M2	11	5
	M3	31	2
	B1	31	2
	B2	47	1
	B3	34	2
	B4	33	2
A través de pozo ciego u hoyo sin cámara séptica	A1	10	2
	A2	19	3
	A3	12	2
	A4	4	1
	A5	17	3
	M1	23	4
	M2	11	2
	M3	29	5
	B1	26	5
	B2	19	3
	B3	22	4
	B4	21	4

Notas:

(1): sólo redes de los "sistemas autónomos o desvinculados"; (2): valores menores indican mayor porcentaje de hogares que disponen las excretas de manera más segura frente a la contaminación, por lo tanto menor vulnerabilidad social.

Los rangos establecidos para delimitar los índices de disposición de excretas a través de pozo ciego u hoyo sin cámara séptica se calcularon mediante el método de optimización de Jenks (Jenks, 1977) (Mapa 27):

- 1** = 1 - 4 %;
- 2** = 4,1 - 12 %;
- 3** = 12,1 - 19 %;
- 4** = 19,1 - 23 %;
- 5** = 23,1 - 29 %.

Los rangos establecidos para delimitar los índices de disposición de excretas a través de pozo ciego con cámara séptica, se calcularon mediante el método de optimización de Jenks (Jenks, 1977) (Mapa 28):

5 = 1 - 11 %;

4 = 11,1 - 18 %;

3 = 18,1 - 24 %;

2 = 24,1 - 34 %;

1 = 34,1 - 47 %.

Los rangos establecidos para delimitar los índices de disposición de excretas a través de red, se calcularon mediante el método de optimización de Jenks (Jenks, 1977) (Mapa 29):

5 = 0 - 0,9 %;

4 = 1 - 1,9 %;

3 = 2 - 2,9 %;

2 = 3 - 3,9 %;

1 = 4 - 5 %.

Finalmente, para las dos variables (captación y disposición) se generaron las ecuaciones de vulnerabilidad social por subcuenca (Ecuación 4 y Ecuación 5, respectivamente), que brindan una caracterización cualitativa. Para su construcción la autora genera y asigna factores de ponderación 1, 3 o 5, debido a que considera que la forma mecánica mediante la cual se está captando agua y/o disponiendo las excretas no aportan a que se agrave la vulnerabilidad social (1), o sí lo hacen de una manera media (3) o alta (5), respectivamente:

Ecuación 4

VS por fuente de captación del recurso =

1 x índice red agua + 3 x índice bomba motor en perforación profunda +
5 x índice bomba manual o motor en perforación somera

VS por vía de disposición de excretas =

1 x índice red cloacal + 3 x índice pozo ciego con cámara séptica +
5 x índice pozo ciego u hoyo sin cámara séptica

Ecuación 5

donde VS: Vulnerabilidad Social.

Luego, a partir de los valores obtenidos se realizó para cada variable un análisis de frecuencia definiendo cinco categorías consistentes (Jenks, 1977). En la Tabla 6 y Tabla 7, se muestran los valores obtenidos y los índices determinados, para los indicadores de referencia:

Tabla 6. Vulnerabilidad social por fuente de captación del recurso

Subcuenca	Valor variable	Índice (*)
A1	29	4
A2	33	5
A3	24	3
A4	25	3
A5	23	3
M1	31	4
M2	27	4
M3	21	2
B1	34	5
B2	18	1
B3	28	4
B4	30	4

Notas:

(*) de menor a mayor se incrementa la vulnerabilidad social.

Los rangos establecidos para delimitar los índices de vulnerabilidad social dada por la fuente de captación del recurso hídrico, se calcularon mediante el método de optimización de Jenks (Jenks, 1977) (Mapa 30):

1 = 18 - 19;

2 = 20 - 21;

3 = 23 - 25;

4 = 26 - 31;

5 = 32 - 34.

Tabla 7. Vulnerabilidad social por vía de disposición de excretas

Subcuenca	Valor variable	Índice (*)
A1	24	2
A2	22	1
A3	27	3
A4	25	2
A5	28	3
M1	32	4
M2	30	4
M3	35	5
B1	32	4
B2	20	1
B3	27	3
B4	31	4

Notas:

(*) de menor a mayor se incrementa la vulnerabilidad social.

Los rangos establecidos para delimitar los índices de vulnerabilidad social por subcuenca dada por la vía de disposición de excretas, se calcularon mediante el método de de optimización Jenks (Jenks, 1977) (Mapa 31):

1 = 20 - 22;

2 = 23 - 25;

3 = 26 - 28;

4 = 30 - 32;

5 = 33 - 35.

V.2.a.ii. Densidad poblacional

Como se analizó en las secciones anteriores, la cobertura de redes cloacales es muy escasa, por lo que la mayoría de la gente dispone las excretas en pozos ciegos (en general mal construidos por la falta de cámara séptica). Esta situación hace que sea indispensable conocer la densidad poblacional (hab/ha) para la determinación de subcuencas con diferentes grados de vulnerabilidad social, dado que a mayor densidad poblacional, se incrementa el aporte de materia orgánica a los acuíferos.

Al igual que con el resto de las variables capturadas del censo (INDEC, 2001), se analizó la densidad por radio censal homologado, para luego ajustar dichos radios a las subcuencas (Mapa 32).

Con el fin de establecer los puntos de cortes de los índices, a partir de los valores de densidad poblacional obtenidos, se aplicó un análisis de frecuencia discriminando 5 categorías consistentes (Jenks, 1977). En la Tabla 8 se muestran los valores del indicador de referencia "*Vulnerabilidad social por subcuenca dada por la densidad poblacional*":

Tabla 8. Vulnerabilidad social por densidad poblacional (hab/ha)

Subcuenca	Valor variable (%)	Índice densidad poblacional (*)
A1	7,94	1
A2	14,27	1
A3	20,15	2
A4	26,42	2
A5	25,78	2
M1	19,55	2
M2	24,85	2
M3	66,84	4
B1	63,77	4
B2	67,64	4
B3	41,39	3
B4	100,81	5

Notas:

(*)de menor a mayor se incrementa la vulnerabilidad social.

Los rangos establecidos para delimitar índices de densidad consistentes entre subcuencas, se calcularon mediante el método de de optimización Jenks (Jenks, 1977) (Mapa 33):

1 = 1 - 15 %;

2 = 15,1 - 27 %;

3 = 27,1 - 42 %;

4 = 42,1 - 68 %;

5 = 68,1 - 101 %.

Todas las subcuencas del sector bajo presentan elevados índices, encontrándose la mayor densidad poblacional el la subcuenca B4.

V.2.b. Vulnerabilidad social frente a la contaminación del recurso hídrico subterráneo, Cuenca Las Catonas

Las variables analizadas en los puntos anteriores, dieron por resultado subcuencas con distintos índices de vulnerabilidad social frente a la contaminación del recurso hídrico subterráneo (Mapa 30, Mapa 31, Mapa 33). A continuación se presenta un único Mapa 34, producto del estudio integral, distinguiéndose en cuáles subcuencas la población humana es más vulnerable (Ecuación 6, **Tabla 9**):

Ecuación 6

<p>VS por contaminación del recurso hídrico subterráneo = VS por fuente captación del recurso + VS por vía de disposición excretas + VS por densidad poblacional</p>
--

donde VS es Vulnerabilidad Social.

Tabla 9. Vulnerabilidad social por contaminación del recurso hídrico subterráneo

Subcuenca	Índice VS fuente captación del recurso	Índice VS vía de disposición de excretas	Índice VS densidad poblacional	Suma de los Índices	Índice VS cont. hídrica subterránea (*)
A1	4	2	1	7	1
A2	5	1	1	7	1
A3	3	3	2	8	2
A4	3	2	2	7	1
A5	3	3	2	8	2
M1	4	4	2	10	4
M2	4	4	2	10	4
M3	2	5	4	11	4
B1	5	4	4	13	5
B2	1	1	4	6	1
B3	4	3	3	10	4
B4	4	4	5	13	5

Notas:

VS: Vulnerabilidad Social; (*) de menor a mayor se incrementa la vulnerabilidad social.

Los rangos establecidos para delimitar los índices de VS consistentes entre subcuencas, se calcularon mediante el método de optimización de Jenks (Jenks, 1977):

- 1 = 6 – 7;
- 2 = 7,1 - 8;
- 3 = 8,1 - 9;
- 4 = 9,1 - 11;
- 5 = 11,1 - 13.

El mapa integrador muestra que las subcuencas B1 y B4 son las que mayor índice de vulnerabilidad social presentan; y, como se analiza más adelante, éstas coinciden con los niveles más elevados de contaminación orgánica, tanto en el Acuífero Pampeano como en el Puelche.

V.2.c. Indicadores de *amenaza* en relación a la contaminación hídrica subterránea

Para poder determinar subcuencas con diferentes índices de amenaza, se analizan las vulnerabilidades intrínseca y específica de los acuíferos.

Es importante aclarar en este punto que lo que en el campo de la hidrogeología se denomina “vulnerabilidad específica” (del acuífero), para los fines de este trabajo la autora lo considera como “amenaza” (para la población humana). Esto es así dado que lo que se está determinando son subcuencas con diferentes índices de amenaza para la población, producto de las propiedades “intrínsecas” de los acuíferos (que identifican diferentes áreas de sensibilidad del agua subterránea a los impactos naturales y antrópicos), más los tipos y concentraciones de los contaminantes hallados.

V.2.c.i. Hidrodinámica: Vulnerabilidad Intrínseca de los acuíferos Pampeano y Puelche

Respecto al la vulnerabilidad de acuíferos, es un concepto primariamente cualitativo, aunque en la actualidad existe una tendencia creciente liderado por la escuela hidrogeológica alemana para transformarlo en cuantitativo.

Existen dos corrientes que la definen: una está representada por aquellos investigadores que consideran a la vulnerabilidad como una propiedad referida exclusivamente al medio (tipo de acuífero y cobertura, permeabilidad, profundidad, recarga, etc.), sin tener en cuenta la incidencia de las sustancias contaminantes (*vulnerabilidad intrínseca*); y en la otra orientación, se agrupan los que sí le otorgan, además del comportamiento del medio, trascendencia al tipo y carga del contaminante (*vulnerabilidad específica*) (Auge, 2003).

La autora apoya esta segunda corriente definiendo a la *vulnerabilidad de acuíferos como un concepto cualitativo, de tendencia cuantitativa de acuerdo a la nueva corriente científica, que representa el estado de debilidad del acuífero frente a sustancias contaminantes (de origen natural o antrópicas), que dependerá tanto de las propiedades intrínsecas de ambos, como así también de su interacción.*

Para el estudio hidrodinámico se midieron las profundidades de las superficies freática (Acuífero Pampeano) y piezométrica (Acuífero Puelche), en pozos y perforaciones; luego se convirtieron las mismas en potenciales hidráulicos, con el objeto de determinar la dinámica del agua subterránea (direcciones de flujo, gradientes hidráulicos) y evaluar así las vulnerabilidades intrínsecas de ambos acuíferos. La metodología de trabajo abarcó los ámbitos de gabinete y campaña.

En primer lugar se fijó la escala de trabajo en 1:50.000, detalle para el cual resulta adecuada una distribución de un pozo cada 4 km² aproximadamente; en el Mapa 35 se indica la ubicación de los pozos que captan del Acuífero Pampeano y del Puelche.

Los niveles de agua medidos en ambos acuíferos, fueron volcados en planillas individuales, (en la Figura 13 se muestra una planilla tipo, cuyo resumen se presenta más adelante en la Tabla 17). El muestreo se realizó durante el año 2004.

Los instrumentos utilizados para realizar el trabajo de campo consistieron en una sonda eléctrica acoplada a un téster para medir la profundidad del agua (nivel estático), una cinta métrica de 20 metros, un cable con una plomada en la punta para medir la profundidad del pozo y un GPS para georreferenciar el sitio de muestreo.

Freatimetría. Como puede observarse (Foto 1), las viviendas donde se realizaron las mediciones de los pozos que captan al Acuífero Pampeano son muy precarias, (dado que para captar agua del acuífero más profundo se necesita mayor inversión económica).

Foto 1. Viviendas tipo donde se realizaron las mediciones freaticas



La caracterización de la vulnerabilidad de acuíferos libres puede realizarse mediante diferentes métodos. La mayor representatividad de uno u otro método en ámbitos no afectados, es muy difícil de establecer, debido, entre otras cosas, a la lentitud con que se producen los procesos de contaminación en los sistemas hidrológicos subterráneos, particularmente en los que tienen porosidad intergranular. A continuación se citan las

metodologías más empleadas para su cualificación y mapeo; todas tienen como característica común que califican a la vulnerabilidad en forma cualitativa y su mayor utilidad es que permiten realizar comparaciones relativas dentro de una misma región, o entre regiones distintas:

- **DRASTIC**. Fue desarrollado por Aller *et al.* (1987) para Environmental Protection Agency (EPA), con el objeto de evaluar la vulnerabilidad intrínseca de los acuíferos. Es un método de uso muy difundido, tanto para la cualificación como para el mapeo y se basa en la asignación de índices que van de 1 a 10, de acuerdo a las características y el comportamiento de las variables consideradas en el acrónimo DRASTIC: D (depth - profundidad del agua freática), R (recharge - recarga neta), A (aquifer - litología del acuífero), S (soil - tipo de suelo), T (topography - topografía), I (impact - litología de la sección subsaturada), C (hydraulic conductivity - conductividad hidráulica del acuífero). El índice 1 indica la mínima vulnerabilidad y el 10 la máxima. Además de lo expresado, a cada variable se le asigna un peso o ponderación, de acuerdo a la influencia respecto a la vulnerabilidad. Para el peso ponderado se emplean índices entre 1 y 5, adoptando los autores el mayor (5) para la profundidad del agua (D) y la litología de la sección subsaturada (I) y el menor (1) para la topografía (T). Ambos índices se multiplican y luego se suman los 7 resultados, para obtener un valor final o índice de vulnerabilidad, cuyos extremos son 23 (mínima) y 230 (máxima), aunque en la práctica el índice dominante varía entre 50 y 200.
- **SINTACS**. Es una derivación del DRASTIC, desarrollado por Civita *et al.* (1990) para adecuarlo a las diversificadas características hidrogeológicas de Italia y al requerimiento de un mapeo de mayor detalle y opera mediante el empleo de un software que facilita los cálculos. El acrónimo SINTACS comprende: S (soggiacenza - profundidad del agua), I (infiltrazione - infiltración), N (non saturo - sección subsaturada), T (tipologia della copertura - tipo de suelo), A (acquifero - características hidrogeológicas del acuífero), C (conducibilità - conductividad hidráulica), S (superficie topografica - pendiente topográfica).
- **GOD**. Este método propuesto por Foster (1987), se basa en la asignación de índices entre 0 y 1 a 3 variables que son las que nominan el acrónimo: G (ground water occurrence - tipo de acuífero), O (overall aquifer class - litología de la cobertura), D (depth - profundidad del agua o del acuífero).
- **EPIK**. Es un método paramétrico desarrollado por Doerfliger y Zwahlen (1997) para acuíferos kársticos. El acrónimo significa: Epikarst (E), Protective cover (P), Infiltration conditions (I), Karst network development (K), que son 4 caracteres trascendentes en el flujo y el transporte a través de sistemas kársticos.
- **AVI**. Acrónimo de Aquifer Vulnerability Index, fue desarrollado por Van Stempvoort *et al.* (1992) para el mapeo de la vulnerabilidad del agua subterránea de las provincias de Prairie en Canadá. Se basa en la relación entre el espesor de la zona subsaturada (d) y la permeabilidad vertical de los componentes de la misma (Kv). Mediante dicha relación los autores definen un parámetro que denominan resistencia hidráulica (c), equivalente a: $c = \sum d_i / K_i$, para un número de capas de 1 a i; de acuerdo a la relación, c se expresa en unidades de tiempo (normalmente en

años), para lo cual d suele expresarse en metros y K en m/año. Las magnitudes para la cualificación de la vulnerabilidad se presentan en la Tabla 10 :

Tabla 10. Cualificación de la vulnerabilidad. Método AVI

Resistencia hidráulica (años)	Vulnerabilidad
< 10	Muy alta
10 - 100	Alta
100 – 1.000	Moderada
1.000 – 10.000	Baja
> 10.000	Muy baja

- **EKv**. Desarrollado por Auge (2004), establece una clasificación basada en la profundidad de la superficie freática (e) o espesor de la ZNS y en la permeabilidad vertical de la zona subsaturada (Kv), parámetros que también considera el método AVI.
- Otros métodos menos conocidos y utilizados, son los desarrollados por Fenge (1976), Zaporozec (1985), Marcolongo y Pretto (1987), Sotorníková y Vrba (1987), Schmidt (1987), Villumsen *et al* (1983).

A continuación se analizan sintéticamente las ventajas y desventajas de los métodos descriptos, siguiendo los lineamientos generales propuestos por Auge (2003):

- DRASTIC es más robusto que GOD, dado que emplea mayor cantidad de variables, pero esto puede transformarse en un inconveniente, cuando no se dispone de los valores de alguna/s de ella/s. También se le critica a DRASTIC la reiteración en el alcance de algunos parámetros como R y C , ambos vinculados a la renovación de agua en el acuífero, y la poca incidencia que tienen otros respecto a la vulnerabilidad como S (suelo).
- SINTACS es una derivación de DRASTIC, por lo que presenta las mismas ventajas y desventajas que éste, con el agregado que para su operación se requiere el empleo del software correspondiente.
- GOD posee como mayor ventaja, lo sencillo de su operación y el escaso número de parámetros requeridos para su empleo. Esto a su vez resulta en definiciones menos claras que DRASTIC y SINTACS. Otra falencia es no considerar la incidencia del suelo, que es un factor de gran trascendencia como filtro natural para la contaminación. En general brinda valores bajos de vulnerabilidad.
- EPIK presenta como atributo favorable ser el único método desarrollado específicamente para acuíferos kársticos y como mayor desventaja la indefinición de algunos parámetros como K e I .
- AVI y EKv poseen las mismas ventajas y desventajas: el requerimiento del empleo de dos parámetros solamente deriva en un comportamiento dual: por un lado constituye una ventaja el número reducido de parámetros empleados (dos), y por otro le quita precisión frente a otros métodos más complejos. Así es como establecer en forma cuantitativa el grado de vulnerabilidad de las unidades hidrogeológicas no es tarea sencilla, en virtud de lo variado de los factores que inciden en ella. Sin embargo, reduciendo las variables a considerar, se puede lograr una caracterización semicuantitativa referida a la vulnerabilidad de los acuíferos libres.

En este trabajo se aplicó el método de EKv, dado que no se dispuso de una mayor cantidad de variables requeridas por los otros métodos más complejos, y asimismo por habérselo empleado con resultados satisfactorios en regiones que presentan características similares (geomorfológicas, geológicas e hidrogeológicas) a la estudiada.

Considerando entonces el método EKv, se tiene que: a mayor profundidad se encuentre la superficie freática, favorece la fijación de algunos contaminantes y la atenuación en la concentración de otros, mientras que si existe una cercanía del agua subterránea (superficie freática) a la superficie y a la fuente de contaminación, hace que la atenuación de los contaminantes en su paso por la ZNS, sea poco efectiva.

Asimismo, si la permeabilidad vertical es muy grande, la velocidad de desplazamiento de la pluma en será significativamente mayor. De cualquier manera, si el aporte se mantiene y los contaminantes son suficientemente móviles y persistentes, la pluma de contaminación también puede alcanzar al agua freática, aunque con mayor retardo y dilución.

En relación al espesor de la ZNS (e) se consideran cinco casos (Tabla 11):

Tabla 11. Índices según el espesor de la ZNS

Espesor de la ZNS					
e (m)	< 5	5 - 15	15 - 30	30 - 50	> 50
índice	5	4	3	2	1

Fuente: Auge (2004).

Donde el índice 5 representa la condición más vulnerable frente a la contaminación y el 1 la más protegida.

En relación a la permeabilidad vertical (Kv) de la zona subsaturada se consideran los siguientes índices (Tabla 12):

Tabla 12. Índices según la permeabilidad media vertical de la ZNS

Permeabilidad vertical de la ZNS					
m/día	< 1.10 ⁻³	1.10 ⁻³ - 0,01	0,01 - 1	1 - 50	50 - 500
índice	1	2	3	4	5
	muy baja	baja	media	alta	muy alta

Fuente: Auge (2004).

Los índices se definen según el material litológico presente en la ZNS:

5: arena mediana y gruesa, grava arenosa y grava.

4: arena muy fina a limosa, arena fina y arena mediana a gruesa.

3: limo y limo arenoso.

2: limo y limo arcilloso.

1: arcilla y arcilla limosa.

Nuevamente el índice 5 vuelve a ser el más vulnerable y 1 el más protegido.

Por lo tanto, la vulnerabilidad de los acuíferos libres frente a la contaminación es función inversa de la profundidad de yacencia y directa de la permeabilidad vertical (Kv) de la ZNS. Considerando ambas variables en forma conjunta, la suma varía entre extremos de 2 (menos vulnerable) a 10 (más vulnerable). En la Tabla 13 se esquematiza la distribución de los campos mencionados:

Tabla 13. Matriz que conjuga los índices de e y Kv - ZNS

Kv	1	6	5	4	3	2
	2	7	6	5	4	3
	3	8	7	6	5	4
	4	9	8	7	6	5
	5	10	9	8	7	6
		5	4	3	2	1
e						

Fuente: Auge (2004).

Con el objeto de disponer de órdenes de magnitud respecto a la vulnerabilidad del agua subterránea frente a la contaminación y facilitar la elaboración de la cartografía correspondiente, se asumen 3 condiciones:

- e + Kv de 2 a 4 ➔ grupo I - vulnerabilidad baja
- e + Kv de 5 a 7 ➔ grupo II - vulnerabilidad media
- e + Kv de 8 a 10 ➔ grupo III - vulnerabilidad alta

Para tener una visión areal del grado de vulnerabilidad del acuífero libre frente a la contaminación, es necesario elaborar un mapa donde se reproduce la profundidad de la zona subsaturada del agua subterránea (e), junto con las variaciones de la permeabilidad vertical (Kv). Así se visualizan las zonas más vulnerables y aquellas que presentan una mejor protección (vulnerabilidad media o baja).

Al mapa de vulnerabilidad se lo denomina vulgarmente semáforo, dado que la mayoría emplea los colores verde, amarillo y rojo. Al respecto Vrba (1991), sugiere los siguientes colores:

- verde para vulnerabilidad baja;
- amarillo para vulnerabilidad media;
- rojo para vulnerabilidad alta.

En el caso de que la clasificación admita muy baja y muy alta, el verde oscuro se aplica a la vulnerabilidad muy baja y el verde claro a la baja, mientras que el rosa a la alta y el rojo a la muy alta.

Por lo tanto, en base al método método Ekv de vulnerabilidad de acuíferos libres (Auge, 2004), se analizan los dos parámetros involucrados (permeabilidad vertical y espesor de la zona subsaturada):

- para la sección subsaturada del Pampeano se adopta una permeabilidad vertical (Kv), entre 0,01 y 1 m/día en virtud de su composición litológica dominante (limos y limos arenosos). Dicho valor (que resulta en un índice de vulnerabilidad 3), se aplica a todo el área estudiada dado que no se dispone de datos de campo como para elaborar una cartografía indicativa de las variaciones espaciales del parámetro considerado;
- en base a los espesores medidos de la zona subsaturada (comparar con Tabla 11), se determinaron los índices correspondientes a cada pozo. Luego, mediante la suma de ambos índices, se determinaron las condiciones posibles de vulnerabilidad intrínseca para el Acuífero Pampeano, resultando en (Tabla 14):

Tabla 14. Vulnerabilidad intrínseca del Acuífero Pampeano

Pozo	Espesor (m)	Índice (espesor)	Índice (Kv)	Grupo/Vulnerabilidad
3	2,95	5	3	III/Alta
4	2,50	5	3	III/Alta
5	8,30	4	3	II/Media
7	2,33	5	3	III/Alta
8	5,32	4	3	II/Media
10	2,16	5	3	III/Alta
12	7,34	4	3	II/Media
14	1,10	5	3	III/Alta
15	3,00	5	3	III/Alta
16	2,10	5	3	III/Alta
17	2,80	5	3	III/Alta
18	4,60	5	3	III/Alta
22	2,79	5	3	III/Alta
25	1,74	5	3	III/Alta
26	4,10	5	3	III/Alta
28	2,79	5	3	III/Alta
29	2,78	5	3	III/Alta
30	1,17	5	3	III/Alta
33	3,56	5	3	III/Alta
34	2,10	5	3	III/Alta
35	3,80	5	3	III/Alta
36	1,93	5	3	III/Alta
37	2,13	5	3	III/Alta
43	2,30	5	3	III/Alta
45	1,30	5	3	III/Alta
51	3,15	5	3	III/Alta
56	2,70	5	3	III/Alta
60	1,23	5	3	III/Alta
61	1,59	5	3	III/Alta
64	5,10	4	3	II/Media

En el Mapa 36 se presentan las zonas de la cuenca con vulnerabilidades alta y media; dado que el índice Kv se consideró homogéneo (3) para toda la cuenca, la diferencia entre los valores de vulnerabilidad intrínseca del Pampeano, está dada fundamentalmente por el índice correspondiente atribuible al espesor. Como puede observarse prácticamente toda la cuenca presenta vulnerabilidad intrínseca alta (color rojo²¹), esto es que el acuífero es naturalmente muy susceptible a contaminarse.

La vulnerabilidad específica del Acuífero Pampeano (evento de amenaza para la población), se desarrolla una vez analizado el estudio hidroquímico (Sección V.2.c.iii.).

Para analizar el comportamiento hidrodinámico del Acuífero Pampeano, se convirtieron las profundidades de la superficie freática en potenciales hidráulicos mediante su reducción al 0 del IGM por diferencia con las cotas de la boca de los pozos obtenida de las cartas topográficas. Sobre la base de dichos potenciales hidráulicos se elaboró el Mapa 37²² en el que se representan las curvas equipotenciales y la red de flujo del Acuífero Pampeano. En el mismo se aprecia una coincidencia general entre las divisorias de las aguas superficiales y las subterráneas, aunque en algunos sitios existen desplazamientos como en el sector E-NE de la cuenca. También se observa una coincidencia general entre la orientación del colector superficial primario (Arroyo Las Catonas) y la descarga subterránea principal con un desplazamiento en el sector SE de la cuenca. Esta coincidencia entre divisorias superficiales con ámbitos de recarga y de los cauces principales con la zona de descarga subterránea, caracteriza a los ambientes llanos con exceso en el balance hídrico como el estudiado.

El Arroyo Las Catonas muestra claramente su carácter efluente, recibiendo descarga subterránea fundamentalmente en el tramo medio de la cuenca. El flujo subterráneo dominante es hacia el E en el sector alto, orientándose hacia el SE en los tramos bajo y medio de la cuenca.

Los gradientes hidráulicos tienden a aumentar en la parte media y baja de la cuenca por lo que la superficie freática adopta una forma general de tipo parabólico. Los valores de gradiente hidráulico que caracterizan al sector alto (O de la cuenca) son del orden de $6,7 \cdot 10^{-4}$, mientras que en la parte media siguiendo la línea de descarga principal se incrementa a $1,7 \cdot 10^{-3}$ y en la parte baja a $1,9 \cdot 10^{-3}$. Adoptando valores medios para la porosidad efectiva de 0,08 y para la permeabilidad lateral de 5 m/día (Auge, 1997b) se tiene velocidades efectivas para el flujo subterráneo de 4 cm/día en el sector alto, de 11 cm/día en la parte media y de 12 cm/día en el sector bajo de la cuenca.

Piezometría. Dado que el Acuífero Puelche se emplaza a una profundidad mayor que el Pampeano, requiere de perforaciones más costosas, por lo que los habitantes que lo hacen son los de mayor poder adquisitivo. Asimismo, debido a que el Acuífero Puelche está más protegido que el Pampeano respecto a la contaminación, se lo emplea para la provisión de agua a los centros educativos; en los viveros y en las quintas se lo capta junto al Pampeano para riego (Foto 2):

²¹ Ver criterios de colores de vulnerabilidad intrínseca de acuíferos en la Sección II.2.a.ii.

²² Graficadas con el Programa Surfer 8.01.

Foto 2. Lugares tipo donde se realizaron las mediciones piezométricas

Vivienda



Escuela



Vivero



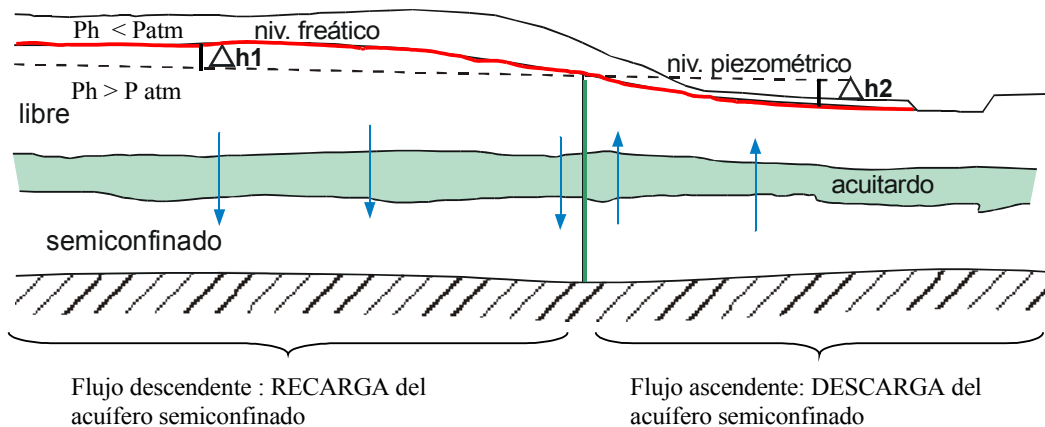
Vivero - Riego por aspersión



La vulnerabilidad de los acuíferos semiconfinados está controlada por el aislamiento que le otorga el acuitardo mediante sus propiedades físicas y geométricas (permeabilidad vertical, porosidad efectiva y espesor), así también como por la relación de potenciales hidráulicos que guarda con el libre sobrepuesto. Esta diferencia, que bajo condiciones de no alteración generalmente es pequeña (algunos dm a pocos m), se magnifica en los ámbitos bajo explotación, donde puede alcanzar decenas y aún centenas de metros.

En el Gráfico 1 se señala la relación hidráulica natural con un ΔH_1 favorable al acuífero libre, que define el sector de recarga del semiconfinado y un ΔH_2 , favorable a este último que tipifica al ámbito de descarga.

Gráfico 1. Relación hidráulica natural entre acuíferos libres y semiconfinado



Fuente: adaptado de Auge (2004).

Nota: las flechas azules indican la entrada de agua al sistema; Ph : presión hidráulica; $Patm$: presión atmosférica; línea continua verde: lugar donde se igualan los potenciales hidráulicos, no hay flujo y por lo tanto cambian los ámbitos de recarga y descarga; $\Delta h1$: relación hidráulica favorable al acuífero libre (potencial hidráulico del libre mayor que el potencial hidráulico del semiconfinado); $\Delta h2$: relación hidráulica favorable al acuífero semiconfinado (potencial hidráulico del semiconfinado mayor que el potencial hidráulico del libre); línea continua roja: superficie freática; línea discontinua negra: superficie piezométrica.

Es importante señalar que el acuífero semiconfinado sólo puede contaminarse a partir del libre en el ámbito de recarga (cuando la superficie freática es mayor que la superficie piezométrica), pero no en el de descarga (superficie piezométrica mayor que la superficie freática). Por lo que la situación menos favorable para la protección del acuífero parcialmente confinado, resulta cuando su potencial hidráulico es menor que el del freático, es decir cuando existe un gradiente hidráulico vertical negativo en profundidad. Siguiendo la misma lógica es como se recarga y descarga el Acuífero Puelche²³.

Con referencia a la relación hidráulica natural, en la superficie freática la presión hidráulica (Ph) es igual a la presión atmosférica ($Patm$); por encima de ésta la Ph es menor que la $Patm$; mientras que por debajo de la superficie freática la $Ph > Patm$; justamente esta última situación hace que al realizar un pozo por debajo de la SF, el agua ascienda hasta donde se equilibran las dos presiones (que será en una posición intermedia entre la SF y la SP).

²³ Como existen afloramientos de las Arenas Puelches en el centro y sur de la Pcia. de Entre Ríos y Corrientes, antiguamente se creía que el agua ingresaba por allí pasando por debajo del Río Paraná con dirección a Buenos Aires. Pero en realidad el flujo es justamente al revés: desde la Pcia. de Buenos Aires, hacia el Río Paraná que actúa como una de las principales líneas de descarga (Groeber, 1961).⁷⁶

Cuando ocurre una extracción excesiva se genera una nueva relación hidráulica entre los dos acuíferos, cuya consecuencia más trascendente respecto a la vulnerabilidad del semiconfinado es el descenso de su superficie piezométrica, con la consecuente sobrecarga hidráulica del libre en el techo del acuitardo, lo que facilita la filtración vertical descendente y el ingreso de contaminantes al acuífero semiconfinado.

Como se mencionó anteriormente, la vulnerabilidad los acuíferos semiconfinados está controlada por las propiedades del acuitardo (permeabilidad vertical, espesor y porosidad efectiva) y por la relación de los potenciales hidráulicos entre el libre y el semiconfinado.

La permeabilidad vertical del acuitardo (K') y su transmisividad vertical ($T' = K'/e'$) no son de fácil determinación. Una forma es mediante ensayos hidráulicos, pero estos en general brindan valores bastante más altos que los reales. Más preciso es comparar la freaticimetría con la piezometría de la misma zona y obtener un mapa residual, con las diferencias de potencial hidráulico entre los acuíferos freático y semiconfinado y a partir de este último, conociendo el flujo por el semiconfinado, estimar el valor de T' ²⁴. Magnitudes aproximadas de T' :

- $10^{-3} < T' < 10^{-6} \text{ día}^{-1}$: típicas de acuíferos semiconfinados,
- $T' < 10^{-6} \text{ día}^{-1}$: indican un alto grado de confinamiento y
- $T' > 10^{-3} \text{ día}^{-1}$: apuntan hacia acuíferos libres o semilibres.

Así es como en este trabajo, para el estudio de la vulnerabilidad intrínseca del Acuífero Puelche se adopta el único método que existe en la actualidad para acuíferos semiconfinados: el método $\Delta HT'$ desarrollado por Auge (2003).

Los potenciales hidráulicos relativos de las unidades hidrogeológicas involucradas, resultan fundamentales, pues condicionan el flujo vertical. Si los niveles son parecidos el flujo vertical a través del acuitardo estará muy limitado, mientras que la dinámica vertical se acentúa notoriamente en condiciones de alteración artificial.

Otro factor que incide en la comunicación hidráulica es la continuidad areal y litológica del sellante, dado que los cambios faciales suelen modificar notablemente sus propiedades respecto a la transmisión de agua.

Considerando ambas variables (potenciales hidráulicos y T') se establecen 3 grados de vulnerabilidad (alta, media y baja), determinados primariamente por el gradiente vertical de potenciales hidráulicos y secundariamente por la T' :

1) a partir de los potenciales hidráulicos (H_1 correspondiente al acuífero libre y H_2 al semiconfinado), se comparan ambos mapas de diferencias de potenciales y así se

²⁴ Por ejemplo, un valor de $T' = 5 \cdot 10^{-4} \text{ día}^{-1}$ significa que por cada metro de diferencia de potencial hidráulico entre el acuífero semiconfinado y el freático, pasarán por una superficie de 1 m^2 del sellante, $5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$ (0,5 litros) al cabo de 1 día.

elabora un tercer “mapa residual” donde quedan establecidas las zonas con diferentes grados de vulnerabilidad (Tabla 15):

Tabla 15. Grados de vulnerabilidad del acuífero semiconfinado según relaciones de potenciales hidráulicos con el libre

H2 > H1	vulnerabilidad baja
H2 ~ H1	vulnerabilidad media
H2 < H1	vulnerabilidad alta

2) luego, se adiciona la resistencia hidráulica que ofrece el sellante al pasaje vertical (Tabla 16).

Tabla 16. Grados de vulnerabilidad del acuífero semiconfinado según los valores de la T_v

$T' < 10^{-5}$ l/día	vulnerabilidad baja
$10^{-5} < T' < 10^{-3}$ l/día	vulnerabilidad media
$T' > 10^{-3}$ l/día	vulnerabilidad alta

3) por último, se superpone el mapa de isoconcentraciones de los contaminantes hallados en cada pozo censado.

Concluyendo, la vulnerabilidad de los acuíferos semiconfinados depende primariamente de la diferencia de potenciales hidráulicos y secundariamente de la aislación que les brinden sus acuitardos.

Respecto al primer punto, en este trabajo se toma como referencia al Acuífero Puelche y se asume que un potencial positivo indica un mayor nivel hidráulico de éste en relación al Pampeano. Contrariamente, si el potencial hidráulico del Pampeano es mayor que el del Puelche, el valor del índice será negativo. Asimismo se establece que:

- diferencias de potenciales hidráulicos > 1 m: **Vulnerabilidad Intrínseca Baja;**
- diferencias de potenciales hidráulicos entre 1 y -1 m: **Vulnerabilidad Intrínseca Media;**
- diferencias de potenciales hidráulicos < -1 m: **Vulnerabilidad Intrínseca Alta.**

El “**Mapa residual**” (Mapa 38), donde se comparan los potenciales hidráulicos del Acuífero Pampeano con los del Puelche, permitió conocer los gradientes hidráulicos verticales (Tabla 17):

Tabla 17. Potenciales hidráulicos – Acuíferos Pampeano y Puelche

Pozo N°	Potencial hidráulico
1 Pu	30,00
2 Pu	23,95
3 Pa	19,55
3 Pu	20,26
4 Pa	16,25
4 Pu	11,96
5 Pa	19,2
5 Pu	15,05
6 Pu	17,30
7 Pa	15,17
7 Pu	16,3
8 Pa	15,93
8 Pu	12,05
10 Pa	6,59
10 Pu	9,83
11 Pu	23,51
12 Pa	7,66
12 Pu	8,74
14 Pa	20,15
14 Pu	22,45
15 Pa	24,50
15 Pu	24,15
16 Pa	25,40
16 Pu	23,60
17 Pa	25,95
17 Pu	18,65
18 Pa	20,4
18 Pu	23,88
21 Pu	30,32
22 Pu	28,46
22 Pu	28,97
23 Pu	26,05
24 Pu	20,95
25 Pa	30,76

Pozo N°	Potencial hidráulico
25 Pu	27,52
26 Pa	27,15
26 Pu	22,85
27 Pu	25,22
28 Pa	28,45
28 Pu	19,63
29 Pa	25,97
29 Pu	24,50
30 Pa	28,83
30 Pu	31,1
31 Pu	23,80
32 Pu	22,98
33 Pa	26,44
34 Pa	24,15
34 Pu	9,72
35 Pa	28,70
35 Pu	9,00
36 Pa	30,57
36 Pu	14,51
37 Pa	30,37
38 Pu	10,38
39 Pu	12,36
41 Pu	21,11
42 Pu	19,93
43 Pa	26,45
43 Pu	25,01
44 Pu	22,19
45 Pa	14,95
45 Pu	24,40
51 Pa	13,10
56 Pa	29,80
60 Pa	32,52
61 Pa	32,16
64 Pa	21,15

Nota: Pa es Pampeano, Pu es Puelche.

La comunicación entre ambos acuíferos a través del acuitardo, permite que el Puelche se recargue por filtración vertical descendente en aquellos sitios donde el Pampeano presenta mayor potencial hidráulico (divisorias subterráneas), o se descargue por

filtración vertical ascendente, donde posee menor potencial hidráulico que el Puelche (zonas de descarga).

El Mapa 38 muestra las zonas de la Cuenca Las Catonas con diferentes vulnerabilidades intrínsecas, donde se observa que prácticamente toda la cuenca presenta vulnerabilidad intrínseca alta-media, salvo una zona muy pequeña en el sector alto y otra un poco más grande localizada en el E, que tienen vulnerabilidad baja. *Estos resultados indican que el Acuífero Puelche, es altamente susceptible a contaminarse por el Acuífero Pampeano, mediante flujo vertical descendente.*

Considerando el segundo punto, magnitudes de T' entre 10^{-3} y 10^{-6} día⁻¹ son típicas de acuíferos semiconfinados, mientras que las menores de 10^{-6} día⁻¹ indican un alto grado de confinamiento y las mayores de 10^{-3} día⁻¹ apuntan hacia acuíferos libres o semilibres. Aquí se adopta un valor de $T' = 5 \cdot 10^{-4}$ día⁻¹ de manera homogénea, lo que significa que por cada metro de diferencia de potencial hidráulico entre el acuífero semiconfinado y el freático, pasarán por una superficie de 1 m² del sellante, $5 \cdot 10^{-4}$ m³ (0,5 litros) al cabo de 1 día. *Este resultado brinda una vulnerabilidad intrínseca media.*

Luego, el estudio del punto 3, es decir la vulnerabilidad específica del Acuífero Puelche (evento de amenaza para la población), es desarrollado luego del análisis hidroquímico (Sección V.2.c.iii).

Respecto a la hidrodinámica del Puelche, en el Mapa 39 se representa la red de flujo del Acuífero Puelche que manifiesta una distorsión bastante más marcada que la del Acuífero Pampeano debido a las alteraciones producidas por la extracción. Ello se evidencia en el sector S y central de la cuenca donde se presentan depresiones cerradas delimitadas por las equipotenciales de 22 y 14 m, respectivamente, que actúan como embudos hidráulicos. También se observa un desplazamiento de las divisorias subterráneas respecto a las superficiales dentro de las cuales la que posee mayor expresión geográfica es la que nace en el sector alto de la cuenca y con orientación SE finaliza en el alto piezométrico delimitado por la equipotencial de 24 m. No se aprecia un ámbito de descarga principal como en el caso del Acuífero Pampeano, orientándose el flujo subterráneo dominante hacia el SE, en dos de los casos controlados por los embudos hidráulicos de 14 y 22 m, mientras que el restante, que tiene su origen en el ámbito alto ubicado en el sector NE de la cuenca, se orienta hacia el S entre las equipotenciales de 22 y 16 m, para luego torcer hacia el SE entre esta última y la de 10 m.

También la superficie piezométrica observa una forma parabólica con gradientes hidráulicos que disminuyen desde $5,4 \cdot 10^{-4}$ en la parte alta (sector NE de la cuenca), a $2,2 \cdot 10^{-3}$ en la parte media (flujo N-S) y a $3,3 \cdot 10^{-3}$ en el sector bajo (flujo NO-SE).

Adoptando valores medios de porosidad efectiva de 0,20 y permeabilidad lateral de 30 m/día (Auge, 1997b), se tiene velocidades efectivas para el flujo subterráneo de: 8 cm/día en el sector alto, de 33 cm/día en el del medio y de 45 cm/día en el sector bajo.

V.2.c.ii. Reservas

Acuífero Pampeano. La importancia de conocer el agua almacenada en este acuífero, radica en que constituye la fuente de recarga natural para el Puelche. Para el volumen de la reserva se consideró el espesor saturado, la superficie de la cuenca y la porosidad efectiva (Ecuación 7):

Ecuación 7

$$\text{Reserva efectiva Acuífero Pampeano} = \text{Área} \times \text{espesor} \times \text{porosidad efectiva}$$

La reserva geológica o efectiva del Acuífero Pampeano, para la superficie de la cuenca (14.600 hm²), es de 350 hm³, tomando una porosidad efectiva media de 0,08 y considerando un espesor medio productivo de 0,3 hm. Dado que no se dispone de datos sobre la oscilación de la SF, no se pueden calcular las reservas reguladoras o regulatrices que son las que surgen del producto entre la superficie ocupada por el acuífero libre, por la porosidad efectiva y por la oscilación de la superficie hidráulica.

Acuífero Puelche. Para conocer la reserva total de este acuífero, es necesario calcular los dos tipos de reserva involucradas que dan cuenta del volumen total del agua almacenada: la efectiva y la que se encuentra bajo confinamiento.

Reserva efectiva: al igual que para el Acuífero Pampeano, ésta se calcula considerando el área (14.600 hm²), la porosidad efectiva (0,2) y el espesor medio (0,2 hm)²⁵ (Ecuación 8), resultando entonces para la zona de estudio un volumen de 584 hm³.

Ecuación 8

$$\text{Reserva efectiva Acuífero Puelche} = \text{Área} \times \text{espesor} \times \text{porosidad efectiva}$$

Reserva bajo confinamiento: esta reserva es significativamente menor que la efectiva; es (como su nombre lo indica), aquella que se encuentra bajo confinamiento y que por ende deriva principalmente del coeficiente de compresibilidad del agua. Para su cálculo se toma en consideración el coeficiente de almacenamiento del acuífero semiconfinado ($S = 5 \cdot 10^{-3}$)²⁶, su carga piezométrica media por encima del acuitardo (0,4 hm) y el área involucrada (14.600 hm²) (Ecuación 9). Para la cuenca estudiada esta reserva es del orden de 29 hm³, representando el 5 % de la reserva efectiva.

Ecuación 9

$$\text{Reserva bajo confinamiento Acuífero Puelche} = \text{Coef. almacenamiento semiconf.} \times \text{carga piezométrica media por encima del acuitardo} \times \text{Área}$$

²⁵ Herman, 2003.

²⁶ Auge (1986).

Reserva total: es la suma de las anteriores (Ecuación 10); el resultado es de 613 hm³, compuesta por el 5 % de la reserva bajo confinamiento y el 95 % de la reserva efectiva.

Ecuación 10

Reserva total Acuífero Puelche = Reserva efectiva + Reserva bajo confinamiento
--

De la comparación de ambos acuíferos surge que la reserva del Acuífero Puelche es 1,75 veces mayor que la del Pampeano.

V.2.c.iii. Hidroquímica subterránea y vulnerabilidad específica de los acuíferos Pampeano y Puelche

Para llevar a cabo el estudio hidroquímico de los acuíferos Pampeano y Puelche, se realizaron actividades en diferentes ámbitos (gabinete, campo y laboratorio) relacionadas con el diseño y toma de muestras de agua, análisis *in situ* y en laboratorio e interpretación espacial de los resultados:

- **Diseño de muestreo.** El muestreo se realizó durante el año 2004 y se diseñó considerando varios aspectos: que los sitios de recolección de muestras se localizaran lo más homogéneamente posible en la cuenca, que fuesen un número representativo y que por cada sitio se tuvieran muestras tanto del Pampeano como del Puelche, para poder evaluar la situación en ambos acuíferos, coincidiendo en la mayoría los casos con los sitios donde se midieron los niveles freáticos y los piezométricos. En el **Mapa 39'** se presentan los pozos de monitoreo de calidad de agua subterránea.

- **Selección de los parámetros de calidad de agua subterránea. Propiedades y características.**

In situ se analizaron los siguientes parámetros:

Conductividad eléctrica por expresar la capacidad de la muestra en la conducción de la corriente eléctrica. Cuanto mayor es la cantidad de los iones disueltos en el agua la conductividad de la solución resultante es mayor.

El **pH** es uno de los principales parámetros de la calidad del agua al que se le debe prestar atención en todas las fases del tratamiento de aguas residuales o de suministro, ya que prácticamente todas ellas (neutralización ácido-base, precipitación, coagulación, desinfección y control de la corrosión) dependen del pH. Así por ejemplo, valores elevados de pH junto con otros factores (dureza), favorecen la formación de incrustaciones de carbonato cálcico en las paredes de las tuberías, con el problema de su progresiva obstrucción; a valores de pH mayores de 8 hay un progresivo descenso en la eficacia del proceso de desinfección por cloro debido a la disminución termodinámica de la cantidad de ácido hipocloroso; a valores menores de 7 causan corrosión grave en las tuberías metálicas del sistema de distribución, aumentando el grado de corrosión cuando el pH disminuye. Este problema de corrosión, puede ser causa de colapso estructural, fugas, pérdidas de capacidad y deterioro de la calidad

química y microbiológica del agua. La corrosión interna de tuberías y accesorios puede repercutir directamente en las concentraciones de algunos de los componentes metálicos tales como cadmio, cobre, hierro, plomo y zinc. Por lo tanto, su control es un aspecto importante en un sistema de abastecimiento que, aparte del pH, depende de otros parámetros como calcio, bicarbonato, carbonato y oxígeno disuelto.

Temperatura por ser un parámetro que incide en los procesos químicos y biológicos, destacándose con la contaminación térmica, el aumento de la Demanda Biológica de Oxígeno (DBO) como la alteración más importante, pues produce una estimulación en la descomposición por microorganismos y la disminución de la solubilidad de la concentración de oxígeno.

En laboratorio se analizaron los siguientes parámetros:

Sodio (Na⁺): es el más difundido de los metales alcalinos en las aguas superficiales y subterráneas.

Las fuentes más trascendentes de aporte son los feldespatos alcalinos y calcoalcalinos, el intercambio de bases, la lluvia, la contaminación urbana e industrial y el lavado de sedimentos marinos. La fuente más importante para la generación de aguas sódicas en los acuíferos Pampeano y Puelche, es el intercambio de bases o iónico, por el que un agua dura (cálcica o magnésica) se ablanda al quedar fijados el calcio o el magnesio en la estructura cristalina de algunas arcillas (montmorillonita o bentonita), mientras que el sodio pasa a la solución. Este intercambio es particularmente activo en las arcillas que componen los sedimentos pampeanos y en el limo arcilloso que forma el acuitardo que los separa del Puelche. En el primer caso, el intercambio de bases hace que el agua predominantemente bicarbonatada cálcica en las áreas de recarga del Acuífero Pampeano se transforme en bicarbonatada sódica en el sentido del flujo a corta distancia de dichos ámbitos, y en el Acuífero Puelche sea también predominantemente bicarbonatada sódica.

El sodio ingerido en abundantes cantidades es nocivo para la salud, debido a que puede afectar la tensión arterial y la actividad renal.

Calcio (Ca²⁺): junto con el magnesio es el más abundante de los alcalinotérreos en las aguas naturales y son los que le otorgan la propiedad conocida como dureza. En las continentales, generalmente el calcio predomina sobre el magnesio, aunque no es raro que suceda lo contrario, en función del componente litológico del acuífero (silicatos de rocas básicas o carbonatos de dolomitas), por la precipitación del Ca²⁺ como carbonato (CO₃⁼) o sulfato (SO₄⁼) y por su fijación por intercambio iónico.

La mayor parte del calcio en solución proviene de los componentes mineralógicos del Loess Pampeano, en especial de la disolución del CO₃Ca epigenético, que se presenta diseminado, o formando nódulos o bancos, lo que deriva en un aumento de la compacidad y resistencia del sedimento, originando lo que se conoce vulgarmente como "tosca".

Otra de las vías de aporte, es el ataque químico a las plagioclasas mesosilícicas y básicas, que componen una parte importante de la fracción arenosa del Pampeano.

Hasta el momento no se conocen enfermedades humanas por la ingesta de aguas con tenores elevados en calcio, debido a que la necesidad del organismo supera al que se puede incorporar con el agua.

Magnesio (Mg^{2+}): junto con el calcio, son los alcalinotérreos más frecuentes en la hidrósfera. Proviene de la alteración de silicatos ferromagnesianos, que participan como constituyentes comunes de las rocas básicas y ultrabásicas y de la disolución de rocas calcáreas como calizas y dolomitas, particularmente de estas últimas, que son las que lo tienen en mayor cantidad como CO_3Mg .

Tanto en combinación con el CO_3^- como con el SO_4^- , el magnesio es mucho más soluble que el calcio, en proporciones aproximadas de 10 a 1 y de 180 a 1, respectivamente. Esto motiva que una vez en solución, sea más estable que el calcio y menos frecuente su precipitación. Por ello, los cambios más importantes en la concentración del magnesio derivan de los procesos de intercambio iónico.

Por ser un nutriente esencial, como el potasio, no posee un valor guía establecido. La Administración de Alimentos y Medicamentos de los Estados Unidos (FDA) recomienda el consumo mínimo de 400 mg/día de estos cationes para preservar la salud, por lo que entonces la presencia de calcio y magnesio en el agua de consumo contribuye a suministrar al cuerpo dos nutrientes esenciales, aunque cuando el agua es sulfatada, el magnesio actúa como laxante.

Potasio (K^+): pese a que se presenta en concentraciones muy similares al sodio en las rocas ígneas y lo supera con amplitud en las arcillas, aparece muy subordinado a éste en las aguas continentales y en las marinas (Hem, 1959). Esta situación deriva de la baja movilidad que tiene el potasio, debido a la facilidad con que es fijado por las arcillas.

El potasio generalmente proviene del ataque a silicatos potásicos como la ortosa y el microclino, aunque también forma parte de algunos feldespatoideos y micas.

En términos generales los alúmino silicatos de potasio son más resistentes al ataque químico que los de sodio y esto constituye otra causa que explica el neto predominio del sodio sobre el potasio en la hidrósfera.

El Loess Pampeano está formado en parte por feldespato potásico alterado (ortosa), proveniente de rocas ácidas (riolitas), que sería la principal fuente de aporte de potasio al suelo y agua.

Por ser un nutriente esencial no posee un valor guía establecido. Nuevamente la FDA recomienda el consumo de una cantidad mínima de potasio para preservar la salud (3.500 mg/día).

Alcalinidad: la alcalinidad de un agua se debe a su contenido en derivados del ácido carbónico (**bicarbonatos y carbonatos**) e hidróxidos en solución; y en menor grado por los boratos, silicatos y fosfatos.

Si bien el CO_2 es poco soluble en agua, en condiciones normales este proceso es capaz de generar uno de los aspectos más importantes de la química del agua, que es el equilibrio carbónico. El CO_2 disuelto en el agua superficial proviene de la respiración de los organismos acuáticos no fotosintéticos, de la descomposición de materias

orgánicas, de la disolución ácida de carbonatos y de la lluvia; mientras que su secuestro se debe fundamentalmente a la función clorofílica realizada por las plantas y organismos fotosintéticos.

En un agua natural, el equilibrio mencionado es más complejo debido a la intervención de los iones disueltos en el agua, especialmente calcio y magnesio, que son mayoritarios. Concretamente existe un equilibrio que hace intervenir a los iones CO_3^{2-} , HCO_3^- , Ca^{2+} y Mg^{2+} , dando lugar a la competencia entre bicarbonatos solubles y carbonatos más insolubles, de los metales anteriores.

Respecto al agua subterránea, la alcalinidad está dada por la presencia de HCO_3^- y CO_3^{2-} , aunque este último sólo puede mantenerse en solución cuando el pH es mayor a 8,3. Los HCO_3^- provienen de la disolución del CO_2 atmosférico o del existente en el suelo, pero dado que la presión de CO_2 en el suelo, suele superar en más de 30 veces a la que este gas registra en el aire (Schoeller, 1959), la principal fuente de provisión de HCO_3^- surge de la combinación del agua contenida en la zona de aireación o subsaturada (ZNS), con el CO_2 particularmente abundante en la franja edáfica. Luego, los HCO_3^- son llevados por el flujo descendente a través de la ZNS hasta alcanzar a la de saturación (ZS).

Otra fuente importante de aporte de alcalinidad al agua subterránea es la disolución del CaCO_3 , muy frecuente en el Loess Pampeano, en forma diseminada como concreciones o estratificado y denominado genéricamente "tosca".

Los fenómenos de "agresividad" del agua (disuelve CaCO_3) o "incrustación" (deposita carbonato desde el bicarbonato soluble), tienen gran importancia, tanto en aguas naturales como en los sistemas de distribución de aguas, debido a las alteraciones que pueden producir en los materiales de tuberías y canalizaciones.

Por otra parte, en el tratamiento de aguas residuales es importante que haya alcalinidad suficiente en los digestores anaerobios porque, en caso contrario, se podría producir una acidificación del medio por acción de los microorganismos y pararse el proceso.

Otro aspecto a considerar es que la alcalinidad por exceso de concentración de metales alcalinotérreos, tiene importancia para determinar la aceptabilidad de un agua para la irrigación.

Cloruros (Cl): son los iones más móviles y estables del agua subterránea, porque no son retenidos ni reaccionan con la fase sólida de los acuíferos o de otras unidades hidrogeológicas (acuitardos, acuícludos). Tampoco intervienen en procesos de intercambio iónico ni de oxidación - reducción y prácticamente no son afectados por cambios en el pH. Por su elevada solubilidad, sólo precipitan en concentraciones mayores a 300 g/l (salmueras). Las fuentes más comunes de aporte de cloruros al agua subterránea son el agua de lluvia, los sedimentos de origen marino, el agua congénita, la disolución de evaporitas salinas, los vertidos urbanos e industriales y los lixiviados de basurales.

Los cloruros ingresan al agua en forma natural, mediante el lavado que la lluvia realiza sobre el suelo; sin embargo, como la superficie de contacto entre el agua y el suelo es relativamente baja en las aguas superficiales, la concentración de cloruros en estos

cuerpos de agua tiende a ser también, relativamente baja, salvo que hallan sido afectadas por eventos antrópicos.

Las excretas humanas de todos los organismos superiores (la orina principalmente), poseen una concentración de cloruros que es aproximadamente igual a la que se ingiere en los alimentos; por esta razón, las aguas residuales domésticas imparten a los cuerpos de agua receptores “una huella característica que las identifica”.

Puesto que muchas de las actividades humanas generan residuos con altas concentraciones de cloruro (plantas de soda cáustica, campos de explotación y producción de petróleo, plantas desalinizadoras, curtiembres, fábricas de baterías, rellenos sanitarios, fosas sépticas, agricultura y ganadería intensiva, entre otras), una de las principales razones por las cuales se incluye este ión en los análisis de naturaleza fisicoquímica, es justamente porque se comporta como un “trazador o indicador ideal” en los estudios de contaminación de aguas.

Las concentraciones elevadas de cloruro, corroen las tuberías de conducción y demás estructuras metálicas, en las aguas que se utilizan para fines industriales; por tal motivo es considerado como un veneno para los aceros.

Asimismo el “sabor salado” producido por el ión cloruro, es variable y depende de los demás componentes presentes en el agua²⁷.

Sulfatos (SO_4^-): junto con los Cl^- y los HCO_3^- son los aniones más comunes en el agua superficial y en la subterránea.

Generalmente provienen de disolución de yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) y anhidrita (CaSO_4), oxidación de sulfuros, agua de lluvia, aguas congénitas, sedimentos de origen marino, actividades urbanas, industriales y agrícolas (Custodio y Llamas, 1976).

Los cationes más afines con el SO_4^- son el Ca^{2+} y el Mg^{2+} , pero con una notoria diferencia en cuanto a la solubilidad de sus compuestos.

El riesgo por la ingesta de agua con alto contenido de SO_4^- se debe a que tiene propiedades laxantes y produce enfermedades intestinales, diarreas y vómitos. Además perjudica al ganado, a las plantas y ataca al cemento por corrosión.

Nitratos (NO_3^-)²⁸: es un ión altamente soluble y móvil que no reacciona con el componente sólido. Es la forma más estable, representando el mayor estado de oxidación del nitrógeno y sus compuestos.

Se ha convertido en una de las causas principales del deterioro del agua subterránea, tanto en los ámbitos urbanos provistos de servicios sanitarios y en aquellos que no lo tienen, como en las áreas rurales y en los emplazamientos industriales. En la actualidad aparece como la contaminación más difundida a nivel mundial y vinculada a la mayor parte de las actividades humanas. En los centros urbanos carentes de servicios cloacales, los nitratos derivan de la degradación de la materia orgánica, mayoritariamente de origen fecal. Los pozos ciegos o negros, en los que se vierten los desechos fecales, son las fuentes de emisión principales. En las ciudades con servicios cloacales, los nitratos derivan de pérdidas en las redes, de aportes provenientes de los

²⁷ Muestras con 250 mg/l de Cl^- , pueden tener un sabor salado fácilmente detectable al gusto, cuando el catión asociado es sodio; sin embargo, ese sabor típico puede estar ausente en aguas con hasta 1.000 mg/l, cuando los cationes predominantes son calcio y/o magnesio.

²⁸ En base a Auge (2004).

suburbios que carecen o tienen poca cobertura cloacal, de viejos pozos ciegos que estaban situados en cascos urbanos y fueron reemplazados por las redes sanitarias, de antiguos repositorios de residuos sólidos que estuvieron emplazados y luego de desactivados fueron reemplazados como terrenos para viviendas o parqueizados. También generan altos aportes las industrias que producen alimentos, faenados, embutido de carnes y el procesamiento y la fabricación de productos lácteos.

En las áreas rurales, los nitratos derivan de fertilizantes a base de abonos, sulfato de amonio o urea, de la bosta y orín de los corrales y de los tambos.

Todas estas actividades originan desechos con una alta proporción de materia orgánica, que si no son adecuadamente tratados y dispuestos dan lugar a la formación de nitratos.

Con referencia a la salud, la incorporación en el organismo de nitratos en concentraciones superiores a las permitidas es realmente de extrema preocupación. En condiciones normales la hemoglobina de los glóbulos rojos transporta oxígeno a todas las células del organismo. La ingesta de una cantidad excesiva de nitratos produce la reducción de los nitratos a nitritos, que se absorben en la sangre oxidando el hierro de la hemoglobina de Fe^{2+} a Fe^{3+} y formando metahemoglobina, pero esta última transporta el oxígeno con dificultad. La metahemoglobina aparece cuando la hemoglobina es oxidada a una tasa superior a la capacidad enzimática normal para reducir la hemoglobina.

Los lactantes son los más susceptibles al efecto tóxico de los nitratos porque tienen una acidez estomacal más baja que los adultos, lo que permite el crecimiento de ciertos tipos de bacterias en el intestino que convierten los nitratos en nitritos y en definitiva a la hemoglobina en metahemoglobina.

Los síntomas de esta enfermedad denominada metahemoglobinemia, son normalmente aquellos relacionados con la distribución dificultosa de oxígeno (dolores de cabeza, debilidad, taquicardias y falta de respiración) y se desarrollan gradualmente a medida que la concentración de metahemoglobina aumenta por encima del 20%. Concentraciones mayores del 50% resultan en una hipoxemia grave y depresión del sistema nervioso central. Concentraciones mayores del 70 % pueden provocar la muerte.

Para individuos que sufren de anemia, fallos cardíacos o enfermedades pulmonares los síntomas de hipoxia pueden aparecer a menores niveles de porcentaje de metahemoglobina.

La metahemoglobinemia también es conocida como la enfermedad del bebé azul, dado que en casos extremos el bebé fallece por cianosis; aunque se diagnostica fácilmente a partir de un análisis de sangre, es comúnmente confundida con un simple trastorno estomacal o un estado nutricional pobre, al ocasionar letargia (sueño profundo y continuo) diarreas o vómitos; por ello es frecuente reconocerla cuando ya está en etapas agudas cianóticas y el niño adquiere un color café azulado con dificultades para respirar. En el caso de niños gravemente afectados, una forma de tratarla es mediante una ingesta abundante de Ácido L-Ascórbico o un tratamiento intravenoso con azul de metileno, que permite revertir la metahemoglobina a hemoglobina, logrando la mejoría.

Contaminación microbiológica. Para determinar contaminación fecal se analizó la presencia de la bacteria *Escherichia coli*, organismo que abunda en las heces de origen humano y animal; se las encuentra en las aguas residuales, en efluentes tratados y en todas las aguas y suelos naturales que han sufrido una contaminación de este origen. Esta especie bacteriana se transmite mediante vía oral-fecal, por consumo de agua o de vegetales regados con aguas servidas, que no fueron lavados y/o hervidos correctamente; su ingesta causa principalmente diarrea, náuseas y cefaleas, pudiendo representar un riesgo a la salud muy importante para lactantes, niños pequeños y adultos con el sistema inmunológico comprometido.

Metales pesados. Proviene principalmente de los procesos industriales, en menor medida domiciliaria y también por causas naturales (yacimientos metalíferos). Forman un grupo de compuestos poco solubles, por lo que generalmente no se presentan como iones libres, sino formando complejos aniónicos asociados a compuestos orgánicos de baja movilidad. La característica más sobresaliente de este tipo de compuestos es su alta toxicidad en muy bajas concentraciones²⁹, por lo tanto las normativas les asignan límites admisibles para los diferentes usos del agua, más estrictos que para el resto de los parámetros, inclusive de los plaguicidas.

Dicha peligrosidad radica en que son bioacumulables, es decir que produce un aumento progresivo de la cantidad de la sustancia en el organismo o parte de él, como consecuencia de que el ritmo de absorción supera la capacidad del organismo para eliminar la sustancia.

Los efectos tóxicos más comúnmente encontrados son: carcinogénicos, embrio y fetotóxicos.

Los metales pesados analizados en agua subterránea fueron cadmio, plomo, cobre, cromo, zinc y arsénico:

- Cadmio (Cd): es un metal poco abundante, por lo que sus reservas en los ecosistemas suelen ser muy bajas, y pequeñas variaciones pueden alterar el equilibrio de los ciclos biogeoquímicos de estos componentes. Generalmente se lo encuentra como mineral combinado con otras sustancias tales como oxígeno (óxido de cadmio), cloro (cloruro de cadmio) o azufre (sulfato de cadmio, sulfuro de cadmio). Todo tipo de terrenos y rocas, incluso minerales de carbón y abonos minerales, contienen algo de cadmio. No se oxida fácilmente y tiene muchos usos incluyendo baterías, pigmentos, revestimientos para metales y plásticos. Es un metal cuyo uso es bastante nuevo. Antes de la II Guerra Mundial prácticamente no había demanda y se lo asociaba a una impureza de zinc y plomo, por lo que era desechado produciendo grandes áreas de contaminación alrededor de estas industrias. Actualmente se sigue relacionando la contaminación por cadmio con este tipo de industria, de hecho es donde se producen mayores emisiones al medio ambiente, pero también se producen emisiones de este

²⁹ Algunos de los metales estudiados son oligoelementos (cobre, zinc, por ejemplo) y su presencia en bajas concentraciones es deseable, pero si se superan ciertos límites ejercen efectos tóxicos. A otros metales no se les conoce función biológica y son tóxicos (mercurio y cadmio, por ejemplo).

metal pesado en la combustión de residuos y de carbón, industria del acero, producción de cementos, aunque en mucha menor cantidad.

De todos los metales tóxicos emitidos al ambiente, el cadmio es uno de los que más tienden a acumularse en los alimentos. Una característica es su fácil transferencia del suelo a los vegetales, siendo uno de los metales mejor absorbidos por las plantas, sobretodo por los cereales como el arroz, el trigo y en menor cantidad el maíz. A nivel de contaminación por agua, son los moluscos bivalvos, crustáceos y peces los que presentan mayor incidencia.

Aproximadamente entre el 50-65% del cadmio ingerido se acumula entre el riñón y el hígado. En un principio llega al hígado, y de aquí es trasladado progresivamente al riñón, donde queda acumulado casi de forma definitiva, ya que la vida media del cadmio es de unos 20 años en adultos.

La excreción se realiza por vía fecal, aunque es muy baja debida a la vida media tan larga del metal; la misma es proporcional a la cantidad acumulada en el organismo. También puede excretarse a través de las glándulas sudoríparas, como ocurre con el hierro, zinc, plomo y níquel.

Asimismo, ingerir alimentos o tomar agua con niveles de cadmio muy elevados produce seria irritación al estómago e induce vómitos y diarrea.

Lesiones en los pulmones y fragilidad de los huesos son otros efectos posibles causados por exposición de larga duración. El contacto de la piel con cadmio no parece constituir un riesgo para la salud.

El Departamento de Salud y Servicios Humanos (DHHS) de EE UU ha determinado que es razonable predecir que el cadmio y los compuestos de cadmio son carcinogénicos.

Hay exámenes disponibles que miden la cantidad de cadmio en la sangre, la orina, el pelo o las uñas. Los niveles en la sangre indican exposición reciente a cadmio; por su parte, los niveles en la orina indican tanto exposición reciente como pasada.

- Plomo (Pb): es un metal gris azulino que se lo encuentra en la corteza terrestre en pequeñas cantidades. No tiene olor ni sabor especial. El plomo se encuentra ampliamente distribuido en el ambiente. La mayor parte proviene de actividades como la minería, la producción de materiales industriales y de la quema de combustibles fósiles; tiene muchos usos: se lo utiliza en la fabricación de baterías, municiones, productos metálicos (soldaduras y cañerías) y en dispositivos para evitar irradiación con rayos X.

El plomo puede afectar a casi todos los órganos y sistemas del organismo, el más sensible es el sistema nervioso, especialmente en los niños. También daña a los riñones y al sistema reproductivo. Los efectos son los mismos ya sea al respirar o al ingerirlo. En altos niveles, puede disminuir el tiempo de reacción, causar debilitamiento de los dedos, muñecas o tobillos y posiblemente afectar la memoria; puede producir anemia y dañar al sistema reproductivo masculino. Debido a su incidencia sobre la salud, se ha reducido en forma importante la cantidad de plomo en gasolina, pinturas, cerámicas y en materiales para soldar.

El DHHS ha determinado que es razonable predecir, basado en estudios en animales, que el acetato de plomo y el fosfato de plomo son carcinogénicos. No hay evidencia

adecuada para establecer en forma decisiva si el plomo produce cáncer en seres humanos.

Mediante un examen se puede medir plomo en sangre y estimar la cantidad a la que estuvo expuesto el individuo. El plomo en dientes y huesos puede medirse con rayos X, pero no es un examen que se efectúe comúnmente.

- Cobre (Cu): es un metal rojizo presente naturalmente en rocas, suelo, agua, aire, plantas y animales.

El cobre metálico puede ser fácilmente moldeado o forjado. Se lo puede encontrar en monedas, alambres y cables eléctricos y en algunas cañerías de agua, así como en mezclas (aleaciones) con otros metales tales como latón y bronce. También se lo encuentra como parte de otros compuestos formando sales: las sales de cobre ocurren naturalmente, pero también son manufacturadas; la sal de cobre más común es el sulfato de cobre. La mayoría de los compuestos de cobre son de color azul-verdoso, y se emplean comúnmente en la agricultura para tratar enfermedades de las plantas (moho), para tratar agua y como preservativos para alimentos, cueros y telas.

Este metal es esencial para mantener buena salud, pero altas cantidades pueden ser perjudiciales: la ingesta de líquidos con niveles de cobre mayores que lo normal puede causar vómitos, diarrea, calambres estomacales, náuseas, daño al hígado, al riñón y en casos extremos causar la muerte.

No se conoce aún si el cobre puede producir cáncer en seres humanos. La EPA ha determinado que el cobre no es clasificable en cuanto a su carcinogenicidad.

El cobre se encuentra normalmente en todos los tejidos del cuerpo, la sangre, la orina, las heces, el cabello y las uñas.

- Cromo (Cr): es un elemento natural que se encuentra en rocas, animales, plantas, suelo, en polvo y gases volcánicos. Está presente en el ambiente en varias formas diferentes: las más comunes son el cromo metálico (0), el trivalente (III) y el hexavalente (VI). No se ha asociado ningún sabor u olor con los compuestos de cromo.

El cromo III ocurre en forma natural en el ambiente, es un elemento nutritivo esencial que ayuda al cuerpo a utilizar azúcar, proteínas y grasa, mientras que el cromo VI y 0 son producidos generalmente por procesos industriales. El cromo 0 se usa para fabricar acero; el VI y el III se usan en cromado, en tinturas y pigmentos, curtido de cuero y para preservar madera.

La ingesta en grandes cantidades de cromo VI puede producir malestar estomacal, úlceras, convulsiones, daño del hígado y el riñón y puede aún causar la muerte; asimismo el contacto de la piel con ciertos compuestos que contienen cromo VI puede producir ulceración de la piel (se han descrito reacciones alérgicas consistentes en enrojecimiento e hinchazón grave de la piel).

Varios estudios han demostrado que los compuestos de cromo VI pueden aumentar el riesgo de contraer cáncer del pulmón. La OMS ha determinado que el cromo VI es carcinógeno en seres humanos.

Debido a que el cromo III es un elemento esencial y ocurre naturalmente en los alimentos, siempre habrá cierto nivel de cromo en nuestro cuerpo. Existen exámenes para medir el nivel de cromo en el cabello, la orina y la sangre.

- Zinc (Zn): es uno de los metales más comunes en la corteza terrestre. Se encuentra en el aire, el suelo, el agua y está presente en todos los alimentos. El zinc puro es un metal brillante blanco- azulado.

Tiene muchos usos comerciales como revestimiento para prevenir corrosión, en compartimientos de baterías secas y mezclado con otros metales, para fabricar aleaciones como latón y bronce.

El zinc se combina con otros elementos formando compuestos peligrosos: cloruro de zinc, óxido de zinc, sulfato de zinc y sulfuro de zinc. Los compuestos de zinc son ampliamente usados en la industria para fabricar pinturas, caucho, tinturas, preservativos para maderas y ungüentos.

Es es un elemento esencial en la dieta. Ingerir muy poco zinc puede causar problemas, pero demasiado también es perjudicial. Los efectos nocivos generalmente se empiezan a manifestar a niveles de 10-15 veces más altos que la cantidad necesaria para mantener buena salud. La ingestión de grandes cantidades, aún brevemente, puede causar calambres estomacales, náuseas y vómitos y si es durante un período más prolongado, pueden ocurrir anemia y disminución de los niveles del colesterol beneficioso. No se sabe si los niveles altos de zinc afectan la reproducción en seres humanos, pero la administración de grandes cantidades de zinc a ratas las hizo estériles. La irritación de la piel es probable que ocurra.

El DHHS y la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) no han clasificado al zinc en cuanto a carcinogenicidad. Existen exámenes para medir el zinc en la sangre, la orina, el cabello, la saliva y las heces. Los niveles altos de zinc en las heces pueden indicar alta exposición reciente, mientras que en la sangre pueden indicar alto consumo o exposición a altas cantidades. Los exámenes que miden zinc en el cabello proveen información acerca de la exposición prolongada, sin embargo la relación entre los niveles de zinc en el cabello y la cantidad de zinc a la que se expuso el individuo no está clara.

- Arsénico (As): es un elemento natural ampliamente distribuido en la corteza terrestre. En el ambiente se lo encuentra combinado con oxígeno, cloro y azufre formando compuestos inorgánicos de arsénico, los que se usan principalmente para preservar madera; en animales y en plantas se combina con carbono e hidrógeno formando compuestos orgánicos de arsénico, empleados como plaguicidas, principalmente sobre plantas de algodón.

La ingesta de niveles altos de arsénico orgánico puede causar la muerte, mientras que en niveles más bajos pueden causar náuseas, vómitos, reducción de la producción de glóbulos rojos y blancos, ritmo cardíaco anormal, daño de los vasos sanguíneos y una sensación de hormigueo en las manos y los pies. La ingesta de niveles bajos de arsénico por largo tiempo puede producir oscurecimiento de la piel y la aparición de pequeños callos o verrugas en las palmas de las manos, las plantas de los pies y el torso y finalmente cáncer de piel. El contacto de la piel con arsénico inorgánico puede causar enrojecimiento e hinchazón.

Si bien los compuestos orgánicos de arsénico son menos tóxicos que los inorgánicos de arsénico, la exposición a niveles altos de ciertos compuestos orgánicos de arsénico puede causar efectos similares a los causados por el inorgánico.

Varios estudios han demostrado que el arsénico inorgánico puede aumentar el riesgo de cáncer de pulmón, de piel, vejiga, hígado, riñón y de próstata. La OMS, el DHHS y la EPA han determinado que el arsénico inorgánico es carcinógeno en seres humanos.

Mediante exámenes se puede medir el nivel de arsénico en sangre, cabello, uñas y orina, siendo este último el más confiable para determinar exposición reciente (días) a arsénico. Los exámenes del cabello y las uñas indican exposición a niveles altos de arsénico en los últimos 6-12 meses.

Plaguicidas. Dentro de este grupo se hallan los insecticidas, los herbicidas y los fungicidas; a su vez los primeros pueden agruparse en organoclorados, organofosforados, carbamatos y piretroides.

Con referencia a este parámetro, en el presente trabajo sólo se realizó **screening de organoclorados** (en muestras de agua subterránea). Estos compuestos se caracterizan por ser muy persistentes (años), presentar solubilidad y movilidad muy bajas puesto que son moléculas grandes, por lo que son fijados con facilidad en el suelo, especialmente por partículas arcillosas; pero su toxicidad es muy elevada.

Dentro de este gran grupo se encuentran representados el DDT, Aldrín, Dieldrín, Heptacloro, etc., que pese a estar prohibidos se los sigue empleando por su efectividad y bajo costo.

Según la OMS, en el mundo se estima que por año, tres millones de personas se intoxican por plaguicidas de las cuales 220 mil mueren. El agravante mayor es que las condiciones socioeconómicas de los agricultores (analfabetismo, falta de información y carencia de recursos para adquirir equipos de protección), no permiten que estas sustancias de alta peligrosidad puedan ser manejadas adecuadamente, sin que representen un riesgo para su salud.

Los síntomas más frecuentes son: eritema, prurito, cefaleas, vértigos, náuseas, conjuntivitis, quemaduras químicas oculares, lesiones de piel, efectos neurológicos y alteraciones hepáticas. Los efectos a largo plazo, pueden ser: riesgo carcinógeno (por exposición con disolventes orgánicos); alteraciones en el sistema reproductor (supresión de la espermatogénesis, cáncer de genitales, cáncer de mamas, abortos espontáneos, defectos congénitos); alteraciones tanto en la calidad del semen como en la disminución del volumen seminal; enfermedades metabólicas y hepáticas; alteraciones en el aparato respiratorio (neumonía, fibrosis pulmonar progresiva); alteraciones en el sistema nervioso (dolores de cabeza, pesadillas, alteraciones del sueño, fatiga, mareos, nerviosismo, irritabilidad, cambios de humor, reacciones esquizoides, depresivas, disminución de la memoria y de la concentración, mayor prevalencia de enfermedad de Parkinson); problemas en piel (dermatitis de contacto, sensibilización alérgica, fotosensibilidad) y alteraciones en el estado inmunitario (depresión de las respuestas humorales y celulares).

El screening de plaguicidas organoclorados revela una cantidad estimada de las sustancias orgánicas cloradas. A partir de la detección de estos compuestos en las

muestras analizadas, se procede en una segunda etapa a la cuantificación de los mismos.

Hidrocarburos (HC). Los HC (gas y/o petróleo) se hallan presentes en elevadas concentraciones en sedimentos de ríos y arroyos cercanos a destilerías e industrias petroquímicas.

Los HC son compuestos orgánicos generalmente menos densos que el agua e inmiscibles en ésta, por lo que forman una fase líquida no acuosa (FLNA).

En la Tabla 18 se presentan los valores guía establecidos por diferentes organismos, para el uso de consumo humano:

Tabla 18. Niveles guía establecidos para el agua de consumo - Parámetros analizados en el agua subterránea

Marco legal Parámetros	Nacional			Provincial	Internac.
	Ley 18.284 (CCA)	SRHN	Ley 24.051 (DP)	Ley 11.820	CEQG
pH	6,5 – 8,5	6,5 – 8,5	*	*	6,5 – 8,5
Temperatura	*	*	*	*	*
Conductividad	*	*	*	*	*
Sodio (mg/l)	*	*	*	*	200
Calcio	*	*	*	*	*
Magnesio	*	*	*	*	*
Potasio	*	*	*	*	*
Bicarbonatos	*	*	*	*	*
Carbonatos	*	*	*	*	*
Cloruros (mg/l)	≤ 350	≤ 250	*	*	≤ 250
Sulfatos (mg/l)	≤ 400	≤ 200	*	*	≤ 500
Nitratos (mg/l)	≤ 45	≤ 45	≤ 45	≤ 50	≤ 45
<i>Escherichia coli</i>	(-)/100 ml	(-)/100 ml	*	(-)/100 ml	*
Cadmio (µg/l)	≤ 5	≤ 5	≤ 5	≤ 3	≤ 5
Plomo (µg/l)	≤ 50	≤ 50	≤ 50	≤ 50	≤ 10
Cobre (µg/l)	≤ 1.000	≤ 100	≤ 1.000	≤ 2.000	≤ 1.000
Cromo total (µg/l)	≤ 50	≤ 50	≤ 50	≤ 20	≤ 50
Zinc (µg/l)	≤ 5000	≤ 5000	≤ 5000	*	≤ 5000
Arsénico (µg/l)	≤ 50	≤ 50	≤ 50	≤ 50	≤ 25
Aldrín + Dieldrín (µg/l) (**)	0,03	0,03	0,03	*	0,7
Hidrocarburos totales (mg/l)	*	≤ 0,2	*	*	*

Notas:

CCA: Código Alimentario Argentino (1994); SRHN: Secretaría de Recursos Hídricos de la Nación (2005); DP: Desechos Peligrosos (1993); CEQG: Canadian Environmental Quality Guidelines (2002); (-)/100 ml: ausencia en 100 ml.

(*): No se adopta valor de referencia.

200: valor significativamente más restrictivo comparado con los otros niveles guía.

(**): Se toma a estos compuestos como referencia de la contaminación por organoclorados, por ser uno de los límites más estrictos.

De la comparación de los niveles guía para consumo humano establecidos por los diferentes organismos, surgen algunas observaciones: una con referencia al *sodio*, ya que ninguna norma nacional ni provincial argentina establece límite para este parámetro; su incorporación en la normativa de potabilidad, tal como lo ha hecho por ejemplo Canadá, es importante dado que ingerido en abundantes cantidades es nocivo para la salud, debido a que puede afectar la tensión arterial y la actividad renal. Asimismo la CEQG es bastante más restrictiva respecto a los compuestos *plomo* y *arsénico*, por lo

que esto también debería ser tomado en cuenta por los organismos nacionales y provinciales de Argentina. Por otro lado, si bien lo que establece la SRHN son límites “recomendados” (no es ley), es importante que contempla el límite de *hidrocarburos totales* (ninguno de los otros organismos considerada este límite); sumado a ello la SRNH es la única (de los empleados en este trabajo), que establece un nivel guía más restrictivo para el *cobre* y los *sulfatos*. Asimismo la ley provincial es la que fija un valor más bajo para el *cadmio*.

- Medición de parámetros *in situ* y recolección de muestras. Todas las muestras se extrajeron directamente de un grifo ubicado en la boca del pozo, evitando de esta manera el paso por tanques y conexiones intermedias para descartar interferencias por mal estado del sistema de distribución. Asimismo, con el fin de asegurar el ingreso directo de agua del acuífero al pozo, previo a la recolección se extrajo un volumen superior al almacenado por la perforación.

Se midieron *in situ* los parámetros: conductividad, pH y temperatura con la sonda multiparamétrica Hanna HI 991301.

Luego, para la medición de los parámetros en laboratorio, las botellas se llenaron impidiendo al máximo la aireación y la agitación del agua, eliminando por completo la presencia de burbujas de aire. Para los análisis químicos correspondientes a los iones y nitratos las muestras fueron recolectadas en botellas de polietileno de 1 litro; para los análisis de organoclorados e hidrocarburos fueron almacenadas en 5 botellas color caramelo de 1 litro cada una (por muestra), con tapa a rosca cubierta interiormente por papel de aluminio para evitar que los organoclorados, en caso de estar presentes, se adhieran a la tapa de plástico; las botellas destinadas para realizar los análisis de concentración de metales pesados fueron previamente tratadas con ácido nítrico 1 molar para evitar que de hallarse presente estos compuestos en el agua, no queden adheridos a las paredes plásticas de las botellas; y por último para el análisis bacteriológico, las muestras se recolectaron en frascos estériles de 250 ml, previo flameado del grifo para descartar contaminación bacteriológica externa al agua.

- Almacenamiento de muestras. Todas las muestras fueron almacenadas a 4 °C y en oscuridad para minimizar las reacciones químicas y biológicas que pudieran alterar la composición original del agua muestreada.

- Análisis químico en laboratorio. En la **Tabla 19** se describe qué compuestos se midieron, con qué metodología y dónde se realizaron las mediciones:

Tabla 19. Análisis químicos realizados en las muestras de agua subterránea

Parámetro		Método	Laboratorio
Aniones	Cloruros	AOAC Off. M. 973.51	Lab. de Análisis de Rocas - Dpto. Cs. Geológicas - FCEyN - UBA
	Sulfatos	AOAC Off. M. 973.57	
	Carbonatos	AOAC Off. M. 920.154	
	Bicarbonatos	AOAC Off. M. 920.154	
	Nitratos	USEPA 353.2	
Cationes	Sodio	AOAC Off. M. 973.53	
	Potasio	AOAC Off. M. 973.54	
	Calcio	AOAC Off. M. 974.27	
	Magnesio	AOAC Off. M. 974.27	
Metales pesados	Cromo	SM 3500-B (Extracción previa con MBK y medición por AAS.)	
	Cadmio	SM 3500-B (Extracción previa con MBK y medición por AAS)	
	Plomo	SM 3500-B (Extracción previa con MBK y medición por AAS)	
	Zinc	SM 3500-B (Extracción previa con MBK y medición por AAS)	
	Cobre	SM 3500-B (Extracción previa con MBK y medición por AAS)	
	Arsénico	Norm4alizados APHA, AWWA, WPCF, 1993	
Organoclorados	Screening	Standard Methods for Examination of Water and Wastewater, 17 Ed., APHA, AWWA, WPCF, 1989. USA	Lab. de Efluentes y Productos Irradiados – CNEA
Hidrocarburos	Totales	Standard Methods for Examination of Water and Wastewater, 17 Ed., APHA, AWWA, WPCF, 1989. USA	
Bacteriológico	<i>Escherichia coli</i>	Readycult coliformes 100 (1.01298.0001 – Merck)	Lab. Química Ambiental – ICI – UNGS

Nota:

AOAC Off. M: Association of Analytical Communities Official Methods; MBK: Metil-isobutil Cetona; AAS: Espectrofotometría de Absorción Atómica.

IONES

En base a los iones, se pudo realizar la **clasificación química** de ambos acuíferos, utilizando el método ideado por Piper (1944), cuya ventaja radica en que permite la representación y visualización conjunta de una gran cantidad de muestras. De acuerdo

a su principio de análisis, se considera que un ión predomina cuando su concentración supera el 50 %.

Las siguientes figuras presentan los iones hallados en el **Acuífero Pampeano**:

- Figura 14³⁰ (se representan las primeras 24 muestras): respecto a los *aniones* existe un predominio notorio del ión bicarbonato (22 muestras sobre 24) en un 92 % de las muestras analizadas, sobre un 8 % del ión cloruros (2/24); no se registran muestras con prevalencia del ión sulfato. Respecto a los *cationes*, existe un predominio del ión magnesio con un 29 % (7/24), seguido del sodio con el 25 % (6/24) y finalmente el calcio con un 4 % (1/24). Mientras que en el 42 % restante no predomina ninguno de los tres cationes analizados.

- Figura 15³¹ (se representan 24 muestras más): respecto a los *aniones* también se aprecia un predominio del bicarbonato en un 92 % (22/24), sobre los cloruros y sulfatos; el 8 % restante está representado por una mezcla de aniones, por lo que no se registran muestras con prevalencia del ión sulfato ni cloruro. Respecto a los *cationes*, se mantiene la prevalencia del ión magnesio con un 42 % (10/24), sobre el sodio con el 33 % (8/24), mientras que en el 25 % restante (6/24) no se aprecia predominio de ninguno de los tres cationes analizados.

- **Figura 16**³² (se representan las 15 muestras restantes): respecto a los *aniones* se aprecia una completa predominancia del bicarbonato (100 %). Respecto a los *cationes*, ahora se invierte la prevalencia del ión sodio (40 %, 6/15), sobre el magnesio con el 20 % (3/15), mientras que en el 40 % restante (6/15) no se aprecia predominio de ninguno de los cationes analizados.

Concluyendo, en lo referente a su composición aniónica, el Acuífero Pampeano presenta un neto predominio (94 %) de aguas bicarbonatadas (59/63), con una presencia muy subordinada (3 %) de las aguas cloruradas (2/63) y ausencia de aguas con más del 50 % de sulfatos; existen sólo dos muestras de 63 que no presentan predominio de ningún anión. Respecto a los cationes, tanto los iones magnesio como los sodio se hallan en igual proporción en un 32 % (20 muestras cada catión/63), predominando el calcio sólo en 1 muestra de 63 (2 %). En el resto de las muestras (22) existe un reparto de estos cationes sin que ninguno supere el 50 %. Asimismo, si bien los cationes calcio y magnesio en solución provienen de los componentes mineralógicos del loess, el hecho que el magnesio se encuentre muy por encima del calcio, puede atribuirse a que el magnesio es más soluble que el calcio.

Por lo expuesto el agua es de tipo bicarbonatada sódica magnésica.

Las siguientes figuras presentan los iones hallados en el **Acuífero Puelche**:

³⁰ Muestras representadas del Acuífero Pampeano: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24 y 25 PA.

³¹ Muestras representadas del Acuífero Pampeano: 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48 y 49 PA.

³² Muestras representadas del Acuífero Pampeano: 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63 y 64 PA.

- **Figura 17**³³ (se representan las primeras 24 muestras): respecto a los *aniones* se aprecia una completa predominancia del ión bicarbonato (100 %) sobre los cloruros y sulfatos. Respecto a los *cationes* se observa una clara prevalencia del ión sodio (21/24) en un 88 %, mientras que en el 12 % restante (3/24) no se aprecia predominio de ninguno de los cationes analizados.

- **Figura 18**³⁴ (se representan las 10 muestras restantes): respecto a los *aniones* se aprecia nuevamente una completa predominancia del ión bicarbonato (100 %) sobre los cloruros y sulfatos. Respecto a los *cationes* se observa una prevalencia del ión sodio (3/10) en un 30 %, seguido del calcio (1/10) en un 10 %, mientras que en el 60 % restante (6/10) no se aprecia predominio de ninguno de los cationes analizados.

Concluyendo, en lo referente a la composición aniónica del Acuífero Puelche, éste presenta un absoluto predominio de aguas bicarbonatadas (100 %), con ausencia de aguas con más del 50 % de cloruros y sulfatos. Respecto a los cationes, existe un dominio del ión sodio en un 71 %, seguido de manera muy subordinada por el ión calcio en un 3 %, no hallándose ninguna muestra con predominio de magnesio; en el resto de las muestras (9) existe un reparto de estos cationes sin que ninguno supere el 50 %.

Por lo expuesto el agua es de tipo bicarbonatada sódica.

Comparando los resultados de los acuíferos Pampeano y Puelche, se observa que los aniones se comportan prácticamente de la misma manera, pero no sucede lo mismo con los cationes. Respecto a este último grupo, existe en el Puelche un importante incremento (comparado con el Pampeano) del ión sodio sobre el calcio y el magnesio. Este comportamiento puede explicarse debido al intercambio iónico, por el que el calcio y el magnesio quedan retenidos en la estructura cristalina de algunas arcillas³⁵, mientras que el sodio pasa a la solución. Este intercambio es particularmente activo en el limo arcilloso (acuitardo) que separa a ambos acuíferos, siendo el responsable que el agua del Pampeano que recarga al Puelche, se ablande naturalmente haciéndose más sódica.

Para el análisis de la amenaza por parte de los iones medidos, sólo se seleccionaron y representaron gráficamente³⁶ aquellos que en cantidades elevadas producen efectos negativos, ya sea en la salud como en otros aspectos³⁷, o como en el caso de la conductividad por ser el parámetro que da cuenta de la concentración total de los iones.

De todos estos compuestos seleccionados, los nitratos son los que influyen más negativamente sobre la salud, sobre todo teniendo en cuenta que la ingesta de agua

³³ Muestras representadas del Acuífero Puelche: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23 y 24 PU.

³⁴ Muestras representadas del Acuífero Puelche: 26, 27, 28, 29, 30, 31, 33, 35, 36 y 42 PU.

³⁵ Ver Sección II.2.b.i.

³⁶ Conductividad, sodio, cloruros y sulfatos mediante el Programa Surfer 8.01; nitratos con ArcView 8.2.

³⁷ Ver Sección II.2.b.i.

con una alta concentración en nitratos puede provocar la muerte de los lactantes (metahemoglobinemia o enfermedad del bebé azul).

Pese a que existen fuertes variaciones areales en los componentes químicos del agua subterránea debido entre otros a cambios en la composición litológica, permeabilidad, porosidad y dinámica del agua, lo que dificulta la interpolación lineal, igualmente se representan a continuación los mapas mediante el programa Surfer a fin de brindar un panorama general sobre la distribución de las concentraciones de los iones considerados.

Acuífero Pampeano:

- Se encuentra una correlación entre las concentraciones de la **conductividad eléctrica** (Mapa 40) halladas en la cuenca media y baja con la dirección del flujo subterráneo (Mapa 37); aunque también se detecta con elevado tenor salino la divisoria del sector N.
- Las concentraciones de **sodio** (Mapa 42) halladas son bastante homogéneas en toda la cuenca, encontrándose los mayores valores en la parte alta del sector S y en la cuenca baja, correlacionándose para este último caso con la dirección del flujo subterráneo.
- Las mayores concentraciones de **cloruros** (Mapa 44) se encontraron en todo el sector bajo de la cuenca, coincidiendo tanto con el sentido del flujo como con la descarga subterránea principal. Estos sitios corresponden con los de mayor densidad poblacional.
- Si bien en prácticamente toda la cuenca se hallaron valores similares de **sulfatos** (Mapa 46), las mayores concentraciones se encontraron en la cabecera.

Acuífero Puelche:

- Si bien se encontró una mayor homogeneidad de concentración de **conductividad eléctrica** (Mapa 41) comparada con el Pampeano, el patrón de los niveles más elevados prácticamente coinciden (divisoria del sector N y cuencas media y bajas correlacionadas también con el sentido del flujo) (Mapa 39).
- Si se compara con el Pampeano, si bien las concentraciones de **sodio** (Mapa 43) son mayores, también fueron homogéneas en la cuenca, encontrándose los valores elevados en la cuenca baja, en sentido del flujo subterráneo.
- Las mayores concentraciones de **cloruros** (Mapa 45) se hallaron en el sector SO de la cuenca, con valores muchos menores que los encontrados en el Pampeano.
- Los valores de **sulfatos** (Mapa 47) son menores que los detectados en el Pampeano, pero a diferencia de éste, las mayores concentraciones se localizaron en la cuencas media y baja, coincidiendo con el sentido del flujo.

Al comparar los mapas de isoconcentraciones de **nitratos**³⁸ se observa una clara diferencia. En el Puelche (Mapa 49) se manifiesta una condición predominante de baja amenaza en prácticamente toda la cuenca, deteriorándose el recurso de forma gradual hacia la desembocadura, en coincidencia con el incremento de la densidad poblacional. Sin embargo de la comparación de este mapa con la diferencia de los potenciales hidráulicos (Mapa 38), surge que en el sector E de la cuenca, donde la vulnerabilidad es baja (diferencia de potenciales hidráulicos positivos), presentan mayores contenidos de nitratos que en aquellos donde la vulnerabilidad intrínseca aparece como alta (diferencia de potenciales hidráulicos negativos).

El Pampeano (Mapa 48), presenta condiciones diversas de contaminación en toda la cuenca; pero es importante destacar que se visualizan dos zonas de alto deterioro del recurso hídrico, coincidiendo una de éstas con la misma detectada en el Puelche y con el patrón de mayor densidad.

METALES PESADOS

Se representaron³⁹ los valores obtenidos de metales pesados.

Acuífero Pampeano:

- Las mayores concentraciones de **chromo total** (Mapa 50) se hallaron en el sector O y medio de la cuenca, coincidiendo para este último caso tanto con la dirección del flujo subterráneo como con los valores elevados de conductividad eléctrica.
- Respecto al **cobre** (Mapa 52), las mayores concentraciones se encontraron en la zona de descarga subterránea principal y también como para el cromo, coincide con la zona donde se detectó mayor concentración de conductividad eléctrica.
- Los valores de **plomo** (Mapa 54) son bajos y homogéneos en toda la cuenca.
- Las concentraciones mayores de **zinc** (Mapa 56) se localizaron en los sectores S y E de la cuenca, coincidiendo esta última zona tanto con el flujo subterráneo como con los valores salinos más elevados.

Acuífero Puelche:

- Los valores de **chromo total** (Mapa 51) fueron menores que los hallados en el Pampeano, coincidiendo a su vez con uno de los sectores con mayor tenor salino hallados en el Puelche (cuenca media).
- Respecto al **cobre** (Mapa 53), las mayores concentraciones se encontraron en la parte alta del sector S, coincidiendo con el la divisoria subterránea.
- Si bien los valores de **plomo** (Mapa 55) son homogéneos para toda la cuenca (como en el Pampeano), las mayores concentraciones se detectaron en el sector O.
- Las concentraciones de **zinc** (Mapa 57) son menores que las halladas en el Pampeano, localizándose las mayores en el sector SO de la cuenca.

³⁸ En ambos mapas la gradación de colores se basa en el mismo criterio propuesto por Vrba (1991) para el mapeo de vulnerabilidad de acuíferos (ver Sección II.2.a.ii.).

³⁹ Mediante el Programa Surfer 8.01. Es importante aclarar que en el caso de presentar resultados menores al límite de detección del aparato, para poder representar el parámetro gráficamente, se adoptó la unidad del valor que le sigue por debajo.

El **cadmio** no fue representado gráficamente dado que en todos los pozos medidos en ambos acuíferos, presentó valores menores al límite de detección del aparato. Respecto al **arsénico** se cuenta con pocos datos por lo que no se elaboró el mapa respectivo.

Para ambos acuíferos, de todos los parámetros analizados (considerando los iones y metales pesados), el único que excede los valores guía establecidos por los organismos de Argentina para el agua para consumo humano, es el nitrato. Luego, el sodio (en el Pampeano), plomo (en el Puelche) y arsénico (en ambos acuíferos) sólo superan el valor si se lo compara con la CEQG. En la Tabla 20 se presenta a modo de resumen los valores máximos, mínimos y el valor guía para agua de consumos para cada uno de los parámetros mencionados anteriormente.

Tabla 20. Resultado de los parámetros seleccionados

Parámetro		Niveles guía calidad de agua para consumo						
		Pampeano	Puelche	Nacional			Provincial	Internacional
				Ley 18.284 (CCA)	SRHN	Ley 24.051 (DP)	Ley 11.820	CEQG
Conductividad (mg/l)	Máx.	1949	950	*	*	*	*	*
	Mín.	440	559					
Sodio (mg/l)	Máx.	225	195	*	*	*	*	200
	Mín.	1	33					
Cloruros (mg/l)	Máx.	180	58	≤ 350	≤ 250	*	*	≤ 250
	Mín.	12	10					
Sulfatos (mg/l)	Máx.	150	50	≤ 400	≤ 200	*	*	≤ 500
	Mín.	2	1					
Nitratos (mg/l)	Máx.	455	177	≤ 45	≤ 45	≤ 45	≤ 50	≤ 45
	Mín.	7	1					
Cadmio (µg/l)	Máx.	< 2	< 2	≤ 5	≤ 5	≤ 5	≤ 3	≤ 5
	Mín.	< 2	< 2					
Cromo total (µg/l)	Máx.	32	15	≤ 50	≤ 50	≤ 50	≤ 50	≤ 50
	Mín.	< 2	< 2					
Cobre (µg/l)	Máx.	70	71	≤ 1.000	≤ 100	≤ 1.000	≤ 2.000	≤ 1.000
	Mín.	< 2	< 2					
Plomo (µg/l)	Máx.	10	13,20	≤ 50	≤ 50	≤ 50	≤ 50	≤ 10
	Mín.	< 5	< 5					
Zinc (µg/l)	Máx.	275	205	≤ 5.000	≤ 5.000	≤ 5.000	*	≤ 5.000
	Mín.	10	< 1					
Arsénico (µg/l)	Máx.	28,50	28	≤ 50	≤ 50	≤ 50	≤ 50	≤ 25
	Mín.	< 10	< 10					

Notas:

CCA: Código Alimentario Argentino (1994); SRHN: Secretaría de Recursos Hídricos de la Nación (2005); DP: Desechos Peligrosos (1993); CEQG: Canadian Environmental Quality Guidelines (2002).

(*): No se adopta valor de referencia.

455: Valor que excede los niveles guía de Argentina y Canadá.

225: Valor que excede solamente los niveles guía de Canadá.

De los *iones* analizados, tanto la conductividad como los iones cloruros, sulfatos y nitratos, se hallaron en mayores concentraciones en el Acuífero Pampeano que en el Puelche. Luego, respecto a los *metales pesados*, el cadmio siempre se encontró por debajo del límite de detección del aparato; los valores de cromo y zinc fueron mayores en el Pampeano, mientras que los metales cobre, plomo y arsénico presentaron valores muy similares en ambos acuíferos.

SCREENING PLAGUICIDAS ORGANOCLORADOS

Como se mencionó anteriormente, estos compuestos son fijados con facilidad en el suelo, pues presentan solubilidad y movilidad muy bajas puesto que son moléculas grandes. Debido a ello, es bastante difícil hallar indicios de contaminación por organoclorados en agua subterránea. Por lo tanto, considerando lo mencionado es que se realizó un muestreo exploratorio en zonas de viveros y quintas donde las encuestas revelaron un uso intensivo de este tipo de compuestos. La captura de muestras se realizó en sitios pilotos representativos de la cuenca alta, tanto en el Pampeano como en el Puelche. Se analizó, como primera instancia, un screening de plaguicidas organoclorados con el fin de estimar qué compuestos se hallan presentes. Todos los resultados fueron negativos para ambos acuíferos, por lo que se descartó continuar con la medición de este parámetro (fortaleciendo esta decisión el costo elevado del análisis)⁴⁰.

HIDROCARBUROS TOTALES

La presencia de este tipo de compuestos se halla en altas concentraciones en lugares cercanos a destilerías o refinerías de petróleo. De esta manera, al igual que se hizo para con los organoclorados, como primera actividad se realizó un muestreo exploratorio en sitios donde se manipula excesiva cantidad de este compuesto; tal es el caso de la PTO (Planta de Tratamiento de Orgánicos – Landfarming), localizada en Bartolomé Díaz y Ruta 25, Moreno, como en 2 estaciones de servicio.

En el caso de la PTO, tiene pozos propios de monitoreo que alcanzan tanto el Pampeano como al Puelche; los mismos fueron aprovechados para las mediciones de los niveles y para la toma de muestras. Afortunadamente tanto las muestras analizadas por la autora como por el establecimiento volcaron resultados negativos, por lo que, con la misma lógica empleada para los compuestos anteriores se interrumpió este tipo de medición.

Por lo tanto, considerando que de todos los parámetros analizados el **nitrato** es el único que excede los valores guía establecidos por los organismos de Argentina para agua de consumo, es el único compuesto químico que se considera en el estudio de

⁴⁰ Es importante aclarar que independientemente del costo, de haber dado positivas las muestras, se hubiese continuado con el análisis de este parámetro.

amenaza para la población establecida en la Cuenca Las Catonas; se lo analizó para ambos acuíferos a nivel de subcuencas.

Para llevar a cabo este análisis en primer lugar se calculó el valor medio ponderado de la concentración de nitratos (CNM) por subcuenca (Ecuación 11):

Ecuación 11

CNM ponderada=

$$[\text{CNM medio} \times S1] + [\text{CNM medio} \times S2] + [\text{CNM medio} \times S3] + \dots [\text{CNM medio} \times Sn] / [S1 + S2 + S3]$$

donde $S1 + S2 + S3 + \dots + Sn$ = superficie total de cada subcuenca; CNM (concentración de nitratos media).

A cada subcuenca, en base a ese valor medio ponderado, se le asignó un factor de ponderación (denominado “factor nitrato”) dependiendo de cuánto se aparta de la normativa de potabilidad y de los efectos que producen las diferentes concentraciones en la salud de lactantes y ancianos. De esta manera, si el valor hallado en la subcuenca se aparta:

- entre 0,1 - 1 veces: se le atribuyó un factor de 1;
- entre 1,01 - 2 veces: se le atribuyó un factor de 2;
- entre 2,01 - 3 veces: se le atribuyó un factor de 3;
- entre 3,01 - 5 veces: se le atribuyó un factor de 4;
- entre 5,01 - 10,11 veces: se le atribuyó un factor de 5.

Lo anterior surge del análisis de la normativa, de experiencias a campo y entrevistas realizadas a los médicos de centros de asistencia primaria⁴¹, tanto pertenecientes a esta cuenca, como otras localizadas fuera del área de estudio:

- valor < 45 mg/l (coincide con el límite de potabilidad): se le atribuye un factor de 1;
- valor entre 46 - 90 mg/l (comienzan dificultades leves respiratorias en lactantes): se le atribuye un factor de 2;
- valor entre 91 - 130 mg/l (se acentúan las dificultades respiratorias en lactantes): se le atribuye un factor de 3;
- valor entre 131 - 200 mg/l (afectación severa en lactantes: cianosis severa y dificultades respiratorias en ancianos): se le atribuye un factor de 4;
- valor > 200 mg/l (a partir de este valor se registran fallecimientos de lactantes y afectaciones severas en ancianos): se le atribuye un factor de 5.

Luego, la autora establece que la *amenaza por subcuenca dada por la concentración de nitratos* es el producto entre el valor medio ponderado de la concentración de nitratos y el factor asignado (Ecuación 12). Finalmente, a partir de los productos obtenidos se realizó un análisis de frecuencia definiendo cinco categorías consistentes

⁴¹ Durante el desarrollo de este trabajo y de los diagnósticos ambientales que se realizan en los municipios de la zona de influencia de la UNGS, en el marco de la asignatura “Laboratorio Intermenciones” que imparte el ICO.

entre subcuencas. La Tabla 21 y **Tabla 22** dan cuenta de los indicadores de referencia en los acuíferos Pampeano y Puelche, respectivamente.

Tabla 21. Amenaza por nitratos - Acuífero Pampeano

Subcuenca	CNM ponderado (mg/l)	Factor nitrato	CNM ponderada (mg/l) x factor nitrato (Ecuación 12)	Índice Nitratos Pa (*)
A1	51,44	2	102,88	2
A2	22,81	1	22,81	1
A3	154,77	4	619,08	4
A4	88,09	2	176,18	2
A5	38,56	1	38,56	1
M1	95,02	3	285,06	3
M2	144,97	4	579,88	4
M3	69,98	2	139,96	2
B1	179,83	4	719,32	5
B2	86,45	2	172,9	2
B3	104,06	3	312,18	3
B4	184,02	4	736,08	5

Notas:

CNM (concentración de nitratos media); (*) de menor a mayor se incrementa la amenaza.

Las superficies totales de cada subcuenca son (en km²): A1: 20,82; A2: 37,46; A3: 6,88; A4: 2,82; A5: 6,56; M1: 10,58; M2: 8,82; M3: 9,65; B1: 16,94; B2: 8,64; B3: 8,32; B4: 8,50.

Los rangos consistentes entre subcuencas, que delimitar los índices de amenaza por la concentración de nitratos en el Pampeano, se calcularon mediante el método de de optimización Jenks (Jenks, 1977) (Mapa 58):

- 1 = 0 – 100 mg/l;
- 2 = 101 - 200 mg/l;
- 3 = 201 - 400 mg/l;
- 4 = 401 - 620 mg/l;
- 5 = 621 - 740 mg/l.

Tabla 22. Amenaza por nitratos - Acuífero Puelche

Subcuenca	CNM ponderado (mg/l)	Factor nitrato	CNM ponderado (mg/l) x factor nitrato (Ecuación 12)	Índice Nitratos Pu(*)
A1	15,67	1	15,67	1
A2	23,54	1	23,54	1
A3	12,65	1	12,65	1
A4	15,55	1	15,55	1
A5	23,31	1	23,31	1
M1	32,17	1	32,17	1
M2	11,67	1	11,67	1
M3	9,67	1	9,67	1
B1	34,63	1	34,63	1
B2	38,91	1	38,91	1
B3	21,65	1	21,65	1
B4	87,57	2	175,14	2

Notas:

CNM (concentración de nitratos media); (*) de menor a mayor se incrementa la amenaza.

Las superficies totales de cada subcuenca son (en km²): A1: 20,82; A2: 37,46; A3: 6,88; A4: 2,82; A5: 6,56; M1: 10,58; M2: 8,82; M3: 9,65; B1: 16,94; B2: 8,64; B3: 8,32; B4: 8,50.

Con el fin de comparar el estado de amenaza entre ambos acuíferos, se estableció para el Puelche el mismo criterio de determinación de índices que para el Pampeano. En el Mapa 59 se observa la amenaza por nitratos en el Acuífero Puelche.

Era esperable que el mismo patrón que se observa en el Mapa 48 y el Mapa 49, se manifiesta en los analizados por subcuencas: en el Pampeano existe una mayor presión del recurso, manifestado esto en 2 subcuencas con mayor índice de amenaza, (que son las que coinciden con la mayor densidad poblacional), siguiéndole toda la gama de posibilidades, aunque claramente el deterioro es más marcado en las cuencas baja y media (Mapa 58). En el Puelche solamente una subcuenca presenta una mayor amenaza (correspondiente con la zona de la desembocadura y con la de mayor densidad poblacional, al igual que para el Pampeano), mientras que el resto de las subcuencas presentan el menor índice (1) (Mapa 59).

BACTERIOLÓGICO

Respecto al análisis bacteriológico, se midió la presencia o ausencia de la bacteria *Escherichia coli* en 100 ml de muestra. Si bien este parámetro se lo muestreó tanto en los pozos que se abastecen del Pampeano como del Puelche, los resultados arrojados en este último no se consideran para las conclusiones del estado del recurso. Esta decisión se fundamenta en el hecho que más del 90 % de los sitios muestreados corresponden a establecimientos educativos y por esta razón, tal como lo manifestaban los planos de construcción, los pozos estaban encamisados y cementados; por lo tanto en estos casos, el flujo de agua debe atravesar toda la sección que va desde la superficie freática hasta el acuífero semiconfinado, recorrido que puede insumir varios meses, con una resistencia mayor aún para atravesar el acuitardo. En este caso el Pampeano, actúa como un filtro natural efectivo frente a contaminantes como las bacterias, que no sobreviven más de 100 días fuera de su hábitat propicio (pozos negros o absorbentes), y en cuanto a la distancia recorrida, diversos estudios han demostrado que las bacterias se transportan hasta 3 m en dirección del flujo del agua subterránea, pero posteriormente disminuyen, siendo muy difícil encontrarlas (Lewis *et al*, 1988).

En el Mapa 60 se presentan los sitios de muestreo realizados en el Pampeano, indicando los valores positivos y negativos.

Dado que para este parámetro no se midió concentración (sino presencia de la especie bacteriana), el análisis de subcuencas se desarrolló calculando el porcentaje de las muestras que brindaron resultados positivos. El Mapa 61 refleja los diferentes índices de amenaza para este parámetro para el Acuífero Pampeano. Dichos índices se determinaron en 5 rangos homogéneos:

- 1:** 0 – 20 %;
- 2:** 21 – 40 %;
- 3:** 41 – 60 %;
- 4:** 61 – 80 %;
- 5:** 81 – 100 %.

Se observa que salvo la subcuenca B1 que presenta índice 4, el resto arrojó el mayor valor máximo (5), indicando que el Pampeano se encuentra altamente comprometido frente a la contaminación bacteriológica por *E. coli*.

V.2.d. Amenaza frente a la contaminación del recurso hídrico subterráneo, Cuenca Las Catonas

En este análisis se obtienen dos amenazas, una para el Acuífero Pampeano y otra para el Acuífero Puelche, dado que sus comportamientos hidrogeológicos son diferentes.

▪ Amenaza por subcuencas del Acuífero Pampeano:

Para llevar a cabo este análisis la autora desarrolló la ecuación “**Amenaza por subcuenca dada por contaminación orgánica en acuíferos libres**” que vincula los componentes de vulnerabilidad intrínseca de este tipo de acuíferos con los dos parámetros más representativos que dan cuenta de la contaminación orgánica de origen urbano: nitratos y *Escherichia coli*. De esta manera se tiene que (Ecuación 13):

Ecuación 13

Amenaza contaminación orgánica en acuíferos libres =

Grado de vulnerabilidad intrínseca del acuífero libre ponderado por la superficie de la subcuenca
+ índice contaminación dado por nitratos en el acuífero libre (Índice Nitratos Pa)
+ índice de contaminación dado por *E. coli* en el acuífero libre (Índice *E. coli*)

El primer componente es denominado por la autora como “**EKv ponderado**” dado que se obtiene a partir del método de vulnerabilidad en acuíferos libres (Mapa 37). Para su cálculo se desarrolló la siguiente fórmula (Ecuación 14):

Ecuación 14

EKv ponderado = [Índice Vulnerabilidad x S1] + [Índice Vulnerabilidad x S2] +
[Índice Vulnerabilidad x S3] + ... [Índice Vulnerabilidad x Sn] / [S1 + S2 + S3 + ... + Sn]

donde S1 + S2 + S3 + + Sn = superficie total de cada subcuenca.

Las superficies se calcularon con el planímetro Planix 7 – Tamaya.

Siguiendo la lógica de este trabajo, donde se desarrolla un análisis cualitativo de amenaza y vulnerabilidad, adoptando valores que varían entre 1 y 5, el “Índice Vulnerabilidad” de la Ecuación 14, en función del grado de vulnerabilidad alcanzado por el método EKv empleado (bajo, medio o alto), adopta los siguientes tres valores:

- 1:** si la vulnerabilidad intrínseca obtenida por el método EKv es baja (Grado I);
- 3:** si la vulnerabilidad intrínseca obtenida por el método EKv es media (Grado II);
- 5:** si la vulnerabilidad intrínseca obtenida por el método EKv es alta (Grado III).

El Mapa 62 presenta la amenaza dada por el Ekv ponderado: los índices hallados son altos y muy similares, variando entre 4,5 y 5.

El cálculo de los otros dos componentes (índices de contaminación por nitratos y por *E. coli*), que conforman la Ecuación 13, fueron desarrollados en la sección anterior.

En la Tabla 23 se presenta la amenaza por subcuencas frente a la contaminación del agua subterránea en el Acuífero Pampeano.

Tabla 23. Amenaza por contaminación del agua subterránea - Acuífero Pampeano

Subcuenca	Índice Ekv ponderado	Índice Nitratos Pa	Índice <i>E. coli</i>	Suma de los índices	Índice Amenaza cont. Ac. Pa (*)
A1	5	2	5	12	4
A2	5	1	5	11	4
A3	5	4	5	14	5
A4	5	2	5	12	4
A5	5	1	5	11	4
M1	4,5	3	5	12,5	4
M2	4,5	4	5	13,5	5
M3	5	2	5	12	4
B1	4,8	5	4	13,8	5
B2	5	2	5	12	4
B3	4,8	3	5	12,8	4
B4	5	5	5	15	5

Notas:

CNM (concentración de nitratos media).

(*) de menor a mayor se incrementa la amenaza. Para establecer los rangos de amenaza consistente entre subcuencas, se calcularon mediante el método de optimización Jenks (Jenks, 1977):

1 = 1 - 3;

2 = 3,1 - 5 ;

3 = 5,1 - 9;

4 = 9,1 - 13;

5 = 13,1 - 15.

El **Mapa 63** da cuenta de los diferentes grados de amenaza frente a la hidrodinámica y la contaminación orgánica en el Acuífero Pampeano; los resultados son alarmantes dado que en toda la cuenca se encuentra altamente comprometido el acuífero (los índices oscilan entre 4 y 5). Por eso es tan importante se desarrollen y continúen desarrollándose, obras de infraestructura de agua potable y saneamiento.

▪ **Amenaza por subcuencas del Acuífero Puelche:**

El mapa de **amenaza del Puelche** (Mapa 64), basado en los contenidos de nitratos reitera que la subcuenca más comprometida es la **B4**, mientras que en las restantes el índice fue el menor. Este dato manifiesta nuevamente la importancia de realizar perforaciones de captación de agua en el Acuífero Puelche.

V.2.e. Riesgo poblacional frente a la contaminación hídrica subterránea, Cuenca Las Catonas

Para evaluar el riesgo poblacional en relación a la contaminación de agua subterránea, se analizan las variables correspondientes a los estudios de *vulnerabilidad social* (Sección V.2.b.) y *amenaza* (Sección V.2.d.); las cuales, luego de ser analizadas y organizadas en un SIG, fueron cruzadas con el fin de poder determinar las subcuencas de mayor riesgo para la población establecida en la Cuenca Las Catonas.

Por lo tanto, considerando (Maskery, 1989):

Ecuación 1

$$\text{RIESGO POBLACIONAL (RP)} = \text{Vulnerabilidad Social (VS)} \times \text{Amenaza (A)}$$

se obtuvieron subcuencas con diferentes índices de riesgo hídrico poblacional (pudiendo oscilar entre 1 y 25) en relación a la contaminación del recurso hídrico subterráneo, según sea al Pampeano (Tabla 25) y (Mapa 65) o al Puelche (Tabla 26) y (Mapa 66). Con el fin de comparar la situación entre ambos acuíferos, se adopta el criterio considerado anteriormente, esto es estableciendo los mismos rangos para el Pampeano y para el Puelche.

Tabla 25. Riesgo poblacional por contaminación del recurso hídrico - Acuífero Pampeano

Subcuenca	Índice VS	Índice Amenaza	Índice RP Acuífero Pa (*)
A1	1	4	4
A2	1	4	4
A3	2	5	10
A4	1	4	4
A5	2	4	8
M1	4	4	16
M2	4	5	20
M3	4	4	16
B1	5	5	25
B2	1	4	4
B3	4	4	16
B4	5	5	25

Nota:

(*) de mayor a menor se incrementa el riesgo poblacional.

Tabla 26. Riesgo poblacional por contaminación del recurso hídrico - Acuífero Puelche

Subcuenca	Índice VS	Índice Amenaza	Índice RP Acuífero Pu (*)
A1	1	1	1
A2	1	1	1
A3	2	1	2
A4	1	1	1
A5	2	1	2
M1	4	1	4
M2	4	1	4
M3	4	1	4
B1	5	1	5
B2	1	1	1
B3	4	1	4
B4	5	2	10

Nota:

(*) de mayor a menor se incrementa el riesgo poblacional.

En el Acuífero Pampeano se detectó contaminación de grado medio a elevado en la mayoría de las subcuencas, siendo las **B1** y **B4** las más comprometidas (ambas con el mayor índice: 21-25). El Acuífero Puelche, si bien se encuentra menos afectado, también presenta los mayores riesgos en las mismas subcuencas, obteniendo índices entre 5 y 10, respectivamente.

Esto resulta lógico toda vez que el Puelche está más protegido respecto de la contaminación debido a que se ubica debajo del Pampeano del que lo separa un estrato de escasa permeabilidad.

V.3. INUNDACIONES

Siendo la *hipótesis* relacionada con las inundaciones, que los grupos sociales más vulnerables se encuentran afectados por la conjunción parcial o total de las siguientes variables: localización en sectores topográficamente deprimidos, baja permeabilidad hidráulica del suelo, presencia y tipo de antropobarreras y cobertura edáfica impermeabilizada artificialmente, se determinan y analizan los grados de vulnerabilidad social y los de amenaza.

V.3.a. Indicadores de vulnerabilidad social en relación al proceso de inundaciones

Para cuantificar este componente se tienen en cuenta dos variables: una es la densidad poblacional y la otra es Necesidades Básicas Insatisfechas (NBI).

V.3.a.i. Densidad poblacional

En el proceso de inundaciones es importante conocer dónde existe la mayor densidad de población, dado que en caso de catástrofe se deberá planificar cómo proceder durante la evacuación, calcular cómo será la respuesta de la gente ante el evento y además para prevenir la pérdida de bienes y materiales.

Esta variable fue analizada en la Sección V.2.a.ii, ya que formó parte del cálculo de vulnerabilidad social frente a la contaminación del recurso hídrico subterráneo. En el Mapa 32 se observa la cantidad de hab/ha y en el Mapa 33 las subcuencas con diferentes índices de vulnerabilidad social, encontrándose la B4 como la de mayor densidad poblacional.

V.3.a.ii. Necesidades Básicas Insatisfechas

El estudio de esta variable es muy trascendente, dado que la población con pobreza estructural (NBI), generalmente se asienta en zonas deprimidas. En esta sección se da cuenta del indicador de referencia "*Vulnerabilidad social por subcuenca dada por las condiciones de NBI*".

Al igual que con el resto de las variables capturadas del Censo (NDEC, 2001), se analizó la variable NBI por radio censal homologado; luego se ajustaron dichos radios a las subcuencas.

Con el fin de establecer los puntos de corte de los índices, a partir de los valores de NBI derivados de las subcuencas, se aplicó un análisis de frecuencia discriminando 5 categorías consistentes (Tabla 27).

Tabla 27. Vulnerabilidad social por condiciones de NBI

Subcuenca	Valor de la variable (%)	Índice NBI (*)
A1	2,70	1
A2	3,28	1
A3	6,45	2
A4	8,72	3
A5	7,22	2
M1	6,65	2
M2	8,70	3
M3	19,38	4
B1	17,86	4
B2	12,85	3
B3	9,93	3
B4	27,22	5

Notas:

(*) de menor a mayor se incrementa la VS.

Los rangos establecidos para delimitar los índices de NBI consistentes entre subcuencas se calcularon mediante el método de optimización de Jenks (Jenks, 1977):

1 = 1 - 4 %;

2 = 4,1 - 8 %;

3 = 8,1 - 13 %;

4 = 13,1 - 20 %;

5 = 20,1 - 28 %.

En el Mapa 67 se observan las subcuencas con diferentes índices de vulnerabilidad social, encontrándose la B4 como de la de mayor NBI.

V.3.b. Vulnerabilidad social frente a las inundaciones, Cuenca Las Catonas

Las variables analizadas anteriormente, dieron por resultado subcuencas con distintos índices de vulnerabilidad (Mapa 33 y Mapa 67); se presenta un único mapa (Mapa 68), resultado de la superposición de ambas variables (ver también Tabla 28). El mismo da cuenta del estudio integral de la vulnerabilidad social frente a las inundaciones, distinguiendo aquellas subcuencas donde la población es más vulnerable (Ecuación 15):

Ecuación 15

<p style="text-align: center;">VS inundaciones = VS densidad poblacional + VS NBI</p>
--

Se observa nuevamente que la subcuenca B4 es la más vulnerable.

Tabla 28. Vulnerabilidad social frente a las inundaciones

Subcuenca	Índice densidad poblacional	Índice NBI	Suma de los índices	Índice VS inundaciones (*)
A1	1	1	2	1
A2	1	1	2	1
A3	2	2	4	2
A4	2	3	5	3
A5	2	2	4	2
M1	2	2	4	2
M2	2	3	5	3
M3	4	4	8	4
B1	4	4	8	4
B2	4	3	7	4
B3	3	3	6	3
B4	5	5	10	5

Notas:

(*) de menor a mayor se incrementa la VS.

Los rangos establecidos para delimitar los índices de NBI consistentes entre subcuencas fueron calculados mediante el método de optimización de Jenks (Jenks, 1977):

1 = 2;

2 = 3 - 4;

3 = 5 - 6;

4 = 7 - 8;

5 = 9 - 10.

Claramente las subcuencas más vulnerables a las inundaciones son las correspondientes a las cuencas media y baja, destacándose la B4 como la más comprometida.

V.3.c. Indicadores de *amenaza* en relación a las inundaciones

Para cuantificar este componente se tienen en cuenta cinco variables: clima, topografía natural, antropobarreras, permeabilidad hidráulica del suelo y superficie impermeabilizada artificialmente.

V.3.c.i. Climatología y Balance hídrico

Generalidades. El área de estudio se ubica en el NE de la Provincia de Buenos Aires que, dada sus características fisiográficas de llanura, presenta un clima bastante homogéneo.

La precipitación y la temperatura, son las variables que ejercen mayor influencia en las características climáticas de una región y por tal motivo son las más usadas en las clasificaciones. Otras menos determinativas y con menor frecuencia de registros son: presión atmosférica, insolación, humedad, radiación, viento y nubosidad.

Para la caracterización climática se emplearon los registros suministrados por la Estación Agrometeorológica del INTA Castelar, correspondientes al periodo de 32 años⁴² (1970-2001). A partir de esos datos se estableció la magnitud de la lluvia, se estimó la evapotranspiración y caracterizó el clima de la región.

El análisis de los datos de **precipitación** y **temperatura** se detallan en la Sección IV.2.a.

Evapotranspiración. La **evapotranspiración potencial (Evtp)** fue definida por Thornthwaite (1948) como “la cantidad de agua que se evaporaría de la superficie del suelo y la que transpirarían las plantas si el suelo tuviera un contenido óptimo de humedad”. Y, la **evapotranspiración real (Evtr)** fue definida por el mismo autor como “la cantidad de agua que realmente se evapora del suelo y transpiran las plantas de acuerdo con su contenido efectivo de humedad”. La diferencia entre ellas se denomina **déficit de agua agrícola o demanda de riego**.

La evapotranspiración es uno de los integrantes primarios de la ecuación básica del ciclo hidrológico. La medición directa de la misma mediante el empleo de lísimetros o evapotranspirómetros, implica elevados costos y complicadas técnicas para reproducir las condiciones naturales del suelo y la vegetación. Es por ello que se la estimó aplicando el método empírico de Thornthwaite y Mather (1957), que brinda resultados representativos de la evapotranspiración y además permite clasificar climáticamente a la región.

Se realizaron tres **balances hídricos** con diferentes alcances:

1. **Edáfico:** para establecer la situación hidrológica de la región en relación al exceso - déficit hídrico (precipitación vs. evapotranspiración). Y luego, a partir de los datos obtenidos, clasificar climáticamente a la región;
2. **General:** con la finalidad de cuantificar la magnitud de la infiltración o recarga subterránea;
3. **Subterráneo:** con el propósito de estimar las entradas al y las salidas del sistema hidrológico subterráneo, tanto naturales como artificiales.

1. **Edáfico:** para calcular el balance hídrico a nivel edáfico, se utilizaron los registros de precipitación y temperatura medias mensuales de la Estación Agrometeorológica del INTA mencionados anteriormente.

Se aplicó el método de Thornthwaite y Mather (1957). A continuación se describen los pasos intermedios con sus respectivos resultados.

Para calcular la **Evtp sin ajustar**, es necesario determinar primero el **índice calórico** a partir de las temperaturas medias mensuales; en este caso dio un valor de 78,76, el cual fue redondeado a 80. Luego los valores de Evtp s/ajustar fueron multiplicados por el **factor de corrección** mensual, que depende de la latitud donde se encuentra la

⁴² 30 años de observación es la norma impuesta por la Organización Meteorológica Mundial, para la lluvia.

estación climatológica en cuestión (34 ° Latitud Sur) dando como resultado una **Evtp ajustada de 843 mm/año.**

En la Figura 19 se relacionan los valores medios mensuales de precipitación, Evtp ajustada y de temperatura. Como puede observarse, en verano si bien las P son mayores que durante el invierno, hay un notable aumento de la Evtp (atmosférica y por parte de las plantas), lo que limita la infiltración y deriva en un déficit hídrico marcado (diciembre, enero y febrero).

Luego se estimó el **índice de retención de agua por parte del suelo** en función de las características granulométricas de éste y del tipo de vegetación que prevalece en la zona considerada. Este aspecto es de suma importancia ya que un suelo arenoso puede contener sólo 1 o 2 cm de humedad por cada 30 cm de profundidad, mientras que los finos arcillosos pueden retener 10 cm o más de humedad en la misma profundidad. Al mismo tiempo diferentes especies de vegetación, tienen raíces de diversas profundidades: cultivos tales como porotos o espinacas tienen raíces superficiales y así la profundidad de la zona radicular en la cual el agua es retenida es muy pequeña; mientras que vegetaciones como árboles y pasturas envían raíces a mayor profundidad, de modo que la cantidad de agua que puede retener el suelo en este tipo de vegetación es mayor que en el anterior; la alfalfa por ejemplo es un cultivo con raíces que puede penetrar hasta unos 5 m.

Dadas las características edáficas de la zona en cuestión: cultivos de raíces superficiales (espinacas, porotos, remolachas, zanahorias, tomates, etc.) y tipo de suelo de textura franco limoso, se estimó el **índice de retención de humedad del suelo en 125 mm.**

Otros parámetros analizados fueron:

- **PPaa (pérdida potencial de agua acumulada)**, donde los valores negativos de P - Evtp representan una deficiencia potencial de agua y son sumados mes a mes.

Puesto que en la Cuenca Las Catonas la suma de todos los valores P - Evtp es positiva, el valor de la pérdida potencial de agua acumulada con el cual se debe comenzar la acumulación de valores negativos de P - Evtp es 0;

- **AAu (almacenaje de agua útil)**, teniendo en cuenta el índice de retención de humedad del suelo (125 mm), se calculó el almacenaje de agua cuando existe pérdida de agua potencial acumulada (valores negativos de P - Evtp), y se procede a la sumatoria mes a mes del almacenaje cuando P - Evtp es positiva, ya que representan un incremento de la humedad del suelo.

- **VAau (variación de almacenaje de agua útil)**, es la diferencia entre la cantidad de humedad almacenada mes a mes.

Con todos estos resultados se procede al cálculo de la **Evtr**; cuando la precipitación es mayor que la Evtp, el suelo permanece lleno de agua y la Evtr es igual a la potencial. Cuando la precipitación está por debajo de la evapotranspiración, el suelo comienza a secarse y la Evtr a ser menor que la potencial. En estos meses la Evtr es igual a la precipitación más la cantidad de agua cedida por la humedad almacenada en el suelo

(la variación de almacenaje sin considerar su signo). La misma dio un valor de **834 mm/año**.

Recopilando los resultados obtenidos para el área de estudio, se tiene que la precipitación media anual es de 1024 mm/año y la Evtr media de 834 mm/año. El exceso de agua (Ex) es de 190 mm/año y el déficit de agua agrícola (Da) (diferencia entre la Evtp y la Evtr), es muy bajo: 9 mm/año.

Luego, la **clasificación climática** se basa en los siguientes índices:

- **Índice de humedad (Ih)**
- **Índice de aridez (Ia)**
- **Índice hídrico (Im)**

donde:

- $Ih = (Ex \times 100) / Evtp$ (Ecuación 16)
- $Ia = (Da \times 100) / Evtp$ (Ecuación 17)
- $Im = Ih - (0,6 \times Ia)$ (Ecuación 18)

Los resultados de estos índices fueron:

- $Ih = (190 \times 100) / 843 = 22,5$
- $Ia = (9 \times 100) / 843 = 1,1$
- $Im = 22,5 - (0,6 \times 1,1) = 21,8$.

A partir de estos resultados y según Thornthwaite (1948) en Burgos y Vidal (1951), el tipo climático es: "**B1** (húmedo); **r** (nula o pequeña deficiencia de agua); **B'2** (mesotermal); y **a'** (con un 48 % de la concentración de la Evtp en los meses de verano)". Empleando la nomenclatura simplificada, lo anterior se reduce a: **B1 r B'2 a'**.

En la Tabla 29 se desarrolla el balance hídrico a nivel edáfico.

**Tabla 29. Balance hídrico edáfico. Thornthwaite y Mather (1957)
Estación Agrometeorológica INTA Castelar - Periodo: 1970 - 2001**

	SEPT	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	TOTAL
T °C	14	17	19	22	24	23	21	17	14	11	10	12	17
i	4,75	6,38	7,55	9,42	10,75	10,08	8,78	6,38	4,75	3,3	2,86	3,76	78,76
Evtp s/a (mm)	1,5	2	2,5	3,3	3,8	3,6	3	2	1,5	1	0,8	1,1	
Fc (factor de corrección) (*)	30	33,9	34,8	37,2	36,6	31,2	31,8	28,2	27	24,9	26,4	28,5	
Evtp (ajus) (mm)	45	68	87	123	139	112	95	56	41	25	21	31	843
P (mm)	63	111	96	103	113	106	106	92	75	53	51	55	1024
P - Evtp (mm)	18	43	9	-20	-26	-6	11	36	34	28	30	24	181
PPaa (**)				-20	-46	-52							
AAu (mm)	125	125	125	106	85	82	93	125	125	125	125	125	
VAau (mm)	0	0	0	-19	-21	-3	11	32	0	0	0	0	
Evtr (mm)	45	68	87	122	134	109	95	56	41	25	21	31	834
Da (mm)	0	0	0	1	5	3	0	0	0	0	0	0	9
Ex (mm)	18	43	9	0	0	0	0	4	34	28	30	24	190
la	22,5												
lh	1,1												
lm	22												
Tipo climático	B1 r B'2 a'												
REFERENCIAS:													
T: temperatura													
i: índice calórico													
Evtp s/a: evapotranspiración potencial sin ajustar													
P: precipitación													
Evtp: evapotranspiración potencial ajustada													
E-Evtp: determina períodos de exceso y deficiencia de humedad													
PPAA: pérdida potencial de agua acumulada (suma acumulada de valores negativos P-EVP)													
AAU: almacenaje de agua útil													
VAU: variación del almacenaje de agua útil													
Evtr: evapotranspiración real													
Da: déficit de gua													
Ex: exceso de agua													
lh: índice de humedad													
la: índice de aridez													
lm: índice hídrico													
(*): 34° latitud sur													
(**): humedad retenida en el suelo: 125 mm.													

2. **General:** con el objeto de desarrollar el balance hidrológico global y obtener una estimación de la infiltración efectiva (I_e), se aplicó la ecuación de equilibrio o en régimen permanente (se considera que no existe variación en volumen de agua almacenada) (Ecuación 19):

Ecuación 19. Balance hídrico global en régimen permanente

$$P = E_{vtr} + E_s + I_e$$

donde:

P = precipitación,

E_{vtr} = evapotranspiración real,

E_s = escurrimiento superficial,

I_e = infiltración efectiva.

Como ya se mencionó, la **precipitación media anual** (1970 - 2001) dio 1024 mm/año, y la **E_{vtr}** se obtuvo por el método de Thornthwaite y Mather, dando 834 mm/año.

En lo referente al **escurrimiento superficial**, se desconoce su módulo ya que en la Cuenca Las Catonas no se dispone de aforos, pero dada las similitudes ecológicas, morfológicas, edafológicas y de uso de la tierra de esta cuenca con las nueve cuencas estudiadas por Auge en la zona de La Plata (1997b), se adopta el índice de escurrimiento medido por dicho autor, equivalente al 5 % de la precipitación media, resultando de 51 mm.

Luego, la **infiltración efectiva** se calculó mediante el método indirecto que es por resolución de la ecuación del balance hidrológico. Por lo tanto:

$$I_e = 1024 \text{ mm/año} - (834 \text{ mm/año} + 51 \text{ mm/año})$$

$$I_e = 1024 \text{ mm/año} - 885 \text{ mm/año}$$

$$I_e = 139 \text{ mm/año}$$

Transformando este último valor en volumen para los 146 km² de área de estudio, se estima un valor de infiltración efectiva de 20 hm³/año. Sin embargo, teniendo en cuenta que sólo alrededor del 40 % de la superficie de la cuenca está en condiciones de permitir infiltración a causa de la impermeabilización urbana, la **recarga natural** sería de **8 hm³/año**.

Si **P = 100 %**:

E_{vtr} representa un **81 %**,

I_e un **14 %**,

Es un 5 %.

En la Figura 20 se presenta el balance hídrico para la Cuenca las Catonas, donde se puede observar en qué período del año existe exceso y/o déficit de agua y cuándo consumo o reposición de las reservas de agua del suelo.

3. **Subterráneo:** De acuerdo a lo analizado anteriormente, surge que los excedentes superan a los déficits hídricos naturales y que la infiltración es mayor que la escorrentía, comportamientos que apuntan hacia condiciones favorables para la recarga. Para desarrollar el balance hídrico subterráneo se deben considerar las entradas y salidas naturales y artificiales que se producen en el sistema, siguiendo la ecuación de continuidad (Ecuación 20):

$$\text{Entradas} - \text{Salidas} = \text{Variación del volumen almacenado}$$

Dado que no se dispone de datos sobre la magnitud de la extracción ni en la zona rural, ni en la urbana, no se puede estimar el balance hídrico subterráneo.

V.3.c.ii. Conductividad hidráulica del suelo

En esta sección se da cuenta del indicador de referencia *Amenaza por subcuenca dada por la conductividad hidráulica del suelo*.

Un material puede ser considerado permeable si posee poros, grietas, fisuras, etc., a través de los cuales puede circular un fluido (gases, agua). La conductividad hidráulica es una medida de la resistencia que le opone el medio al pasaje del agua. Bajo un régimen de tipo laminar y en medio poroso, el flujo subterráneo se explica mediante la Ley de Darcy (Ecuación 21):

$$q = Q/A = k \, dH/dl$$

Ecuación 21. Ley de Darcy

donde q es el caudal unitario (Q) por unidad de área (A), k es la permeabilidad (l/t) y dH/dl es el gradiente hidráulico (l/l).

La permeabilidad se define como la constante de proporcionalidad k si se considera la zona saturada; en la zona subsaturada sin embargo la k depende del grado de saturación del suelo incrementándose en función del grado de humedad del mismo.

Para estudiar las permeabilidades hidráulicas del suelo, las actividades se desarrollaron en diferentes ámbitos: en gabinete se realizó el diseño de muestreo que consistió en tomar muestras a lo largo de los cursos de agua, asegurando siempre que cada

subcuenca cuenta con muestreos representativos. Para la toma de las muestras se emplearon cilindros de aluminio que se hincaron en el suelo con la ayuda de un martillo y pala; luego, una vez capturada la muestra, los mismos fueron cerrados por ambos lados con tapas del mismo material, para evitar pérdidas de humedad del suelo y difusión de gases en la atmósfera (Foto 3). Por último, las muestras fueron analizadas en el Instituto de Suelos del INTA Castelar.

Foto 3. Toma de muestras de suelo



El análisis de la permeabilidad hidráulica del suelo permite conocer de qué manera se infiltra el agua de lluvia en las diferentes subcuencas, dado que si la velocidad de infiltración es alta, se considerará como menos “amenazante” pues el evento de inundación se verá minorizado.

En la Tabla 30 se presentan los rangos establecidos para determinar cualitativamente la *k* medida:

Tabla 30. Rangos determinados de permeabilidad hidráulica en suelos

Rangos (cm/hora)	Características
< 0,13	muy lenta
0,13 – 0,51	lenta
0,51 – 2	moderadamente lenta
2 – 6,30	moderada
6,30 – 12,7	moderadamente rápida
12,7 – 25,4	rápida
> 25,4	muy rápida

Fuente: Laboratorio de Suelos (INTA - Castelar).

Comparando estos valores con los obtenidos en laboratorio, se homogeneizaron los datos por subcuencas determinándose los siguientes 5 rangos (Tabla 31):

Tabla 31. Rangos establecidos para la variable *conductividad hidráulica del suelo*

Variable (cm/hora)	Índice K suelo
--------------------	----------------

< 0,13	5
0,14 – 0,51	4
0,52 – 2	3
2,01 – 12,7	2
> 12,7	1

En el Mapa 69 se observa que las subcuencas que presentan mayor amenaza son las A4, M1, M2 y B1.

V.3.c.iii. Topografía natural

En esta sección se da cuenta del indicador de referencia "*Amenaza por subcuenca dada por la topografía natural*".

Para estudiar la topografía de la cuenca, la metodología se basó en la construcción y análisis del Modelo Digital de Elevación (MDE). Un MDE es una estructura numérica de datos que representa la distribución espacial de la altitud de la superficie del terreno.

Con el programa ILWIS 3.0 se digitalizaron las curvas de nivel de las cartas topográficas 1:50.000 de Moreno (3560–12–3) y Campo de Mayo (3560–12–4) del IGM (Mapa 70), para generar el MDE por interpolación de los valores de altitud⁴³ (Mapa 71). A partir de éste se obtuvo el mapa de elevación (Mapa 72), determinándose los siguientes cinco índices (Mapa 73) obtenidos en función de los rangos de altura⁴⁴ y fundamentalmente de la información extraída de las entrevistas a campo, donde se le preguntaba a la población si había sido afectada por las últimas inundaciones o durante precipitaciones intensas:

- **5:** 7,5 - 10 m;
- **4:** 10,1 - 13,75 m;
- **3:** 13,8 - 20 m;
- **2:** 20,1 - 22,50 m;
- **1:** 22,6 - 35 m.

Asimismo, la pendiente es un indicador clave por su incidencia en las inundaciones, pues es un atributo esencial en la definición de la velocidad del escurrimiento. Los valores de pendiente de la cuenca oscilan entre 0 y 4 %, por lo que se consideró como las más perjudiciales a aquellas comprendidas entre 0 - 1 %, coincidiendo justamente éstas con los rangos 5, 4 y 3 de las elevaciones. En el Mapa 73 se combina el análisis mencionado, obteniéndose de esta manera áreas con diferente potencial de inundabilidad.

Luego, se calculó el coeficiente de ajuste por superficie, es decir el porcentaje de la subcuenca comprometida con los diferentes índices de elevación y pendiente (Ecuación 22):

Índice topografía natural = índice de elevación y pendiente x coeficiente de ajuste en sup.
--

⁴³ Elaborado con la extensión Spatial Analysis del software ArcView 3.1.

⁴⁴ Siguiendo el mismo criterio, índices mayores se corresponden con las alturas que mayor amenaza constituyen para la población.

Los resultados obtenidos se agruparon por subcuenca mediante una suma, para finalmente aplicar un análisis de frecuencia discriminando 5 categorías consistentes (Tabla 32).

Tabla 32. Amenaza por topografía natural

Subcuenca	Valor de la variable	Índice topografía natural (*)
A1	1,01	1
A2	1,01	1
A3	1	1
A4	1,13	2
A5	1,03	1
M1	1,02	1
M2	1,24	3
M3	1,29	3
B1	1,54	4
B2	1,25	3
B3	2,81	5
B4	1,64	4

Notas:

(*) de menor a mayor se incrementa la amenaza.

Los rangos establecidos para delimitar los índices de amenaza por topografía natural consistente entre subcuencas, se calcularon mediante el método de optimización de Jenks (Jenks, 1977):

- 1 = 1 - 1,10 ;
- 2 = 1,11 - 1,20;
- 3 = 1,21 - 1,30;
- 4 = 1,31 - 1,70;
- 5 = 1,71 - 3,00.

En el Mapa 74 se observa que las subcuencas de la cuenca media y baja son las más comprometidas, siendo la B3 la que mayor índice presenta, seguida de las B1 y B4.

V.3.c.iv. Topografía artificial: Antropobarreras

En la Cuenca Las Catonas ha habido una serie de modificaciones en el terreno, creándose barreras artificiales, denominadas por la autora **antropobarreras**⁴⁵. Así, en esta sección se da cuenta del indicador de referencia "*Amenaza por subcuenca dada por antropobarreras*".

Mediante salidas de campo y el análisis de las imágenes satelitales y fotos aéreas, se detectaron cuáles eran aquellas antropobarreras que impiden el escurrimiento natural del agua. Las mismas coinciden con vías de comunicación (rutas, vías férreas, puentes) y se clasificaron según el grado de magnitud, es decir de acuerdo a las elevaciones relativas respecto al nivel del terreno. Para dicha clasificación se consideraron las únicas tres situaciones de modificación de altura presentes en la cuenca: asignándole un valor de 1, a las barreras elevadas hasta 1 m; luego se consideró la segunda situación intermedia,

⁴⁵ Denominadas neobarreras por Morello, 2000.

clasificándola como 3, que corresponde a barreras elevadas entre 2 y hasta 3 m; y por último para aquellas antropobarreras con elevaciones de más de 3 m, se la clasificó como 5, por ser considerada ésta como la de que mayor amenaza para la población establecida en la Cuenca Las Catonas (Mapa 75). Se clasificó cada barrera y se calculó la participación de éstas en cada subcuenca, obteniendo el denominado "coeficiente elevación" (Tabla 33):

Tabla 33. Coeficiente de elevación - Antropobarreras

Subcuenca	Cantidad de barreras	Clasificación de barreras	Coeficiente elevación	Índice coeficiente elevación (*)
A1	1	1	1	1
A2	2	1	7	4
	1	5		
A3	2	1	2	2
A4	1	1	1	1
A5	1	5	5	3
M1	2	1	2	2
M2	1	1	1	1
M3	1	5	5	3
B1	2	3	6	4
B2	1	1	9	5
	1	3		
	1	5		
B3	2	3	11	5
	1	5		
B4	1	3	3	2

Nota:

(*) de menor a mayor se incrementa la amenaza.

Los índices consistentes entre subcuencas, se calcularon mediante el método de optimización de Jenks (Jenks, 1977):

- 1: 1;
- 2: 2 - 3;
- 3: 4 - 5;
- 4: 6 - 7;
- 5: 8 - 11.

Además la orientación de las antropobarreras respecto al escurrimiento superficial incide significativamente en la acumulación de agua, fundamentalmente cuando éstas son transversales al mismo. En este sentido de todas las detectadas (Mapa 75), la *Ruta 23* es la que genera una mayor alteración en la escorrentía, derivando en una mayor inundabilidad, dado que dificulta el escurrimiento superficial del 87 % de la superficie de la cuenca, afectando significativamente gran parte de las subcuencas B1 y B4; no así a la B2 dado que con respecto a ésta está orientada longitudinalmente.

Asimismo, si bien afecta en menor magnitud que la *Ruta 23*, de las subcuencas que atraviesa *Conscripto Benardi*, la más comprometida es la M1, dado que la corta prácticamente de manera transversal a la escorrentía.

Para el caso de las restantes barreras, sus incidencias en la escorrentía no son significativas dado que:

- *línea de ferrocarril (FCDFS)*: se encuentra localizada prácticamente en la divisoria de la cuenca;
- *Acceso Oeste*: presenta una situación muy similar al ferrocarril;
- *Ruta 24*: se localiza en la cabecera, en una zona llana;
- el terraplén en el que se emplaza el *Puente Márquez*: atraviesa a las subcuencas B1 y B3 longitudinalmente a la escorrentía, por lo que tampoco influye en el análisis de detección de subcuencas con mayor inundabilidad.

Del análisis anterior surge aplicar un "coeficiente de escorrentía" construido en base a las tres situaciones halladas en la cuenca de estudio; así es como se le asigna 5 a las subcuencas B1 y B4 por ser las más amenazadas en este análisis; un valor de 3 para la subcuenca M1 por corresponderse con la situación intermedia y de valor 1 para el resto de las subcuencas, por no presentar amenaza frente a la variable analizada.

Se generó el "Índice Antropobarrera" para cada subcuenca, considerando tanto el "coeficiente de elevación" (ver Tabla 33) como el "coeficiente de escorrentía" (Ecuación 23):

Índice Antropobarrera = Índice coeficiente elevación x Índice coeficiente escorrentía
--

Los resultados obtenidos se multiplicaron para cada subcuenca, para finalmente aplicar un análisis de frecuencia discriminando 5 categorías consistentes entre subcuencas, obteniendo los siguientes resultados (Tabla 34):

Tabla 34. Amenaza por antropobarreras

Subcuenca	Índice coeficiente elevación	Índice coeficiente escorrentía	Multiplicación índices	Índice Antropobarrera (*)
A1	1	1	1	1
A2	4	1	4	3
A3	2	1	2	2
A4	1	1	1	1
A5	3	1	3	2
M1	2	3	6	3
M2	1	1	1	1
M3	3	1	3	2
B1	4	5	20	5
B2	5	1	5	3
B3	5	1	5	3
B4	2	5	10	4

Notas:

(*) de menor a mayor se incrementa la amenaza.

Los índices de amenaza consistente entre subcuencas, se calcularon mediante el método de Jenks (Jenks, 1977) (Mapa 76):

- 1: 1;
- 2: 2 - 3;
- 3: 4 - 6;
- 4: 7 - 10;
- 5: 11 - 20.

De este análisis se desprende que las subcuencas B4 y B1 son las más comprometidas dado que fueron las que clasificaron con los mayores índices: 4 y 5, respectivamente.

V.3.c.v. Cobertura edáfica impermeabilizada artificialmente

Otro de los puntos clave en el análisis de las amenazas que potencian el fenómeno de inundaciones, es la determinación de las zonas donde la lluvia se ve imposibilitada de infiltrarse. Así, esta sección da cuenta del indicador de referencia *Amenaza por subcuenca dada por la cobertura edáfica impermeabilizada artificialmente*.

Para establecer la cobertura del suelo dentro de la cuenca que se encuentra impermeabilizada, se cruzó la información correspondiente a usos de suelo con la de densidad poblacional (Mapa 77), obteniendo tres situaciones claramente diferentes de impermeabilización: baja, media y alta; por lo que, siguiendo la misma lógica de análisis cualitativo, se ponderaron tres niveles denominados "categoría uso":

- 1: Rural;
- 3: Urbano baja densidad;
- 5: Urbano alta densidad;

A partir de esta clasificación se calculó el índice de cobertura del suelo por subcuenca, que da cuenta del porcentaje de la superficie de cada uso involucrado (Ecuación 24):

$$\text{Índice impermeabilización edáfica} = \text{categoría uso} \times \% \text{ uso}$$

Los resultados obtenidos se agruparon por subcuenca mediante una suma, para finalmente aplicar un análisis de frecuencia discriminando 5 categorías consistentes, obteniendo los siguientes resultados (Tabla 35):

Tabla 35.
Amenaza por cobertura edáfica impermeabilizada artificialmente

Subcuenca	Valor de la variable	Índice Impermeabilización edáfica (*)
A1	1,59	2
A2	2,82	3
A3	1,33	1
A4	1,03	1
A5	3,21	3
M1	1,75	2
M2	2,35	2
M3	3,58	4
B1	3,36	3
B2	4,44	4
B3	3,50	3
B4	4,64	5

Notas:

(*) de menor a mayor se incrementa la amenaza.

Los índices de amenaza consistente entre subcuencas, se calcularon mediante el método de optimización de Jenks (Jenks, 1977):

- 1 = 1 - 1,5;
- 2 = 1,51 - 2,5;
- 3 = 2,51 - 3,5;
- 4 = 3,51 - 4,5;
- 5 = 4,51 - 5,5.

En el Mapa 78, se observan las subcuencas con diferentes índices de amenaza frente a la variable analizada, señalando a la B4 como la de peor situación.

V.3.d. Amenaza frente a las inundaciones, Cuenca Las Catonas

Las variables analizadas anteriormente (conductividad hidráulica del suelo, topografía natural, antropobarreras y cobertura edáfica impermeabilizada), dieron por resultado subcuencas con distintos índices de amenaza. A continuación se presenta un único mapa (Mapa 79), resultado de la superposición de todas las variables. El mismo da cuenta del estudio integral de la amenaza frente a las inundaciones, distinguiendo aquellas subcuencas donde la población se encuentra más amenazada (Ecuación 25, Tabla 36):

Ecuación 25

Amenaza inundaciones =
 Índice K suelo + índice topografía natural + índice antropobarrera + índice impermeabilización edáfica

Tabla 36. Amenaza por inundaciones

Subcuenca	Índice K suelo	Índice topografía natural	Índice antropobarrera	Índice impermeabilización edáfica	Suma índices	Índice Amenaza inundaciones (*)
A1	1	1	1	2	5	1
A2	4	1	3	3	11	4
A3	2	1	2	1	6	2
A4	5	2	1	1	9	3
A5	1	1	2	3	7	2
M1	5	1	3	2	11	4
M2	5	3	1	2	11	4
M3	1	3	2	4	10	3
B1	5	4	5	3	17	5
B2	1	3	3	4	11	4
B3	1	5	3	3	12	4
B4	3	4	4	5	16	5

Notas:

(*) de menor a mayor se incrementa la amenaza.

Los índices consistentes entre subcuencas, se calcularon mediante el método de optimización de Jenks (Jenks, 1977):

- 1 = 5;
- 2 = 6 - 7;
- 3 = 8 - 10;
- 4 = 11 - 13;
- 5 = 14 - 17.

Del análisis surge que las subcuencas B1 y B4 son las más amenazadas frente a todas las variables consideradas para el análisis de las inundaciones.

Asimismo en la Sección V.3.c.i. se concluye que es en los meses de verano cuando se producen mayores precipitaciones, por lo que es durante esta estación cuando se deben tomar más precauciones.

V.3.e. Riesgo poblacional frente a las inundaciones, Cuenca Las Catonas

Para evaluar el riesgo poblacional en relación a las inundaciones, se procede al análisis de las variables correspondientes a los estudios de *vulnerabilidad social* (Sección V.3.b.) y *amenaza* (Sección V.3.d.); las cuales, luego de ser analizadas y organizadas en un SIG, fueron cruzadas con el fin de poder determinar las subcuencas de mayor riesgo para la población establecida en la Cuenca Las Catonas.

Por lo tanto, considerando (Maskery, 1989):

Ecuación 1

$$\text{RIESGO POBLACIONAL (RP)} = \text{Vulnerabilidad Social (VS)} \times \text{Amenaza (A)}$$

se obtuvieron subcuencas con diferentes índices de riesgo poblacional (pudiendo oscilar entre 1 y 25) en relación a las inundaciones (Mapa 80).

Del análisis surge que las cuencas media y baja son las más problemáticas, siendo las **B1** y **B4** las de mayor índice.

De la comparación entre la metodología propuesta y las obras hidráulicas proyectadas por la Municipalidad de Moreno para atenuar las inundaciones en los ámbitos más afectados (Mapa 81), surge una buena correlación entre ambos, dado que los mayores índices de riesgo poblacional y las obras de infraestructura hidráulica se sitúan en las mismas subcuencas (más bajas).

V.4. RECURSO HÍDRICO SUPERFICIAL

Dado que la población afectada por inundaciones también se ve altamente damnificada por el contacto con el agua superficial contaminada, se plantea como otro *objetivo específico* la cuantificación del riesgo poblacional dado por este fenómeno.

V.4.a. Indicadores de *vulnerabilidad social* frente a la contaminación hídrica superficial

Para este estudio, la población más vulnerable es aquella que se determinó como de mayor riesgo en el estudio de las inundaciones (Sección V.3.e.) (Mapa 80). En los siguientes puntos se analizan cuáles subcuencas se hallan amenazadas en base a la localización de establecimientos industriales y a parámetros medidos en los cursos de agua superficial.

V.4.b. Indicadores de *amenaza* en relación a la contaminación del recurso hídrico superficial

V.4.b.i. Establecimientos industriales

Para dar cuenta de los establecimientos industriales presentes en la cuenca que podrían estar afectando al recurso hídrico, se analizó el censo industrial realizado por la Secretaría de Política Ambiental (SPA), que consiste en clasificar a las industrias, según la Ley 11.459 de la Provincia de Buenos Aires y su decreto reglamentario 1.741/96, en tres categorías de acuerdo a su Nivel de Complejidad Ambiental (NCA); el mismo se calcula mediante la siguiente ecuación (Ecuación 26):

$$\text{NCA} = \text{Ru} + \text{Er} + \text{Ri} + \text{Di} + \text{Lo}$$

en donde, cada variable representa:

Ru: actividad por rubro;

Er: calidad de efluentes y residuos que genere;

Ri: riesgos potenciales de la actividad;

Di: dimensión del emprendimiento;

Lo: localización de la empresa.

De acuerdo a lo que establece el Anexo 2, del decreto correspondiente, cada parámetro podrá adoptar los siguientes valores:

- Efluentes y Residuos (Er): se clasifican como de Tipo 0, 1 o 2 según:

Tipo 0

- Gaseosos: componentes naturales del aire (incluido vapor de agua); gases de combustión de gas natural.
- Líquidos: agua sin aditivos; lavado de planta de establecimientos del Rubro 1, a temperatura ambiente.
- Sólidos y Semisólidos: asimilables a domiciliarios

Tipo 1

- Gaseosos: gases de combustión de hidrocarburos líquidos.
- Líquidos: agua de proceso con aditivos y agua de lavado que no contengan residuos especiales o que no pudiesen generar residuos especiales. Provenientes de plantas de tratamiento en condiciones óptimas de funcionamiento.
- Sólidos y Semisólidos: resultantes del tratamiento de efluentes líquidos del tipo 0 y/o 1. Otros que no contengan residuos especiales o de establecimientos que no pudiesen generar residuos especiales.

Tipo 2

- Gaseosos: todos los no comprendidos en los tipos 0 y 1.
- Líquidos: con residuos especiales o que pudiesen generar residuos especiales. Que posean o deban poseer más de un tratamiento.
- Sólidos y/o Semisólidos: que puedan contener sustancias peligrosas o pudiesen generar residuos especiales.

De acuerdo al tipo de efluentes y residuos generados, el parámetro Er adoptará los siguientes valores:

Tipo 0: se le asigna el valor 0

Tipo 1: se le asigna el valor 3

Tipo 2: se le asigna el valor 6

En aquellos casos en que los efluentes y residuos generados en el establecimiento correspondan a una combinación de más de un Tipo, se le asignará el Tipo de mayor valor numérico.

- Rubro (Ru): de acuerdo a la clasificación internacional de actividades y teniendo en cuenta las características de las materias primas que se empleen, los procesos que se utilicen y los productos elaborados, se dividen en tres grupos:
 - Grupo 1: se le asigna el valor 1
 - Grupo 2: se le asigna el valor 5
 - Grupo 3: se le asigna el valor 10

- Riesgo (Ri): se tendrán en cuenta los riesgos específicos de la actividad, que puedan afectar a la población o al medio ambiente circundante, asignando 1 punto por cada uno:
 - Riesgo por aparatos sometidos a presión
 - Riesgo acústico
 - Riesgo por sustancias químicas
 - Riesgo de explosión
 - Riesgo de incendio.

- Dimensionamiento (Di): se tendrá en cuenta:
 - a) Cantidad de personal
 - Hasta 15: adopta el valor 0
 - Entre 16 y 50: adopta el valor 1
 - Entre 51 y 150: adopta el valor 2
 - Entre 151 y 500: adopta el valor 3
 - Más de 500: adopta el valor 4

 - b) Potencia instalada (en HP)
 - Hasta 25: adopta el valor 0
 - De 26 a 100: adopta el valor 1
 - De 101 a 500: adopta el valor 2
 - Mayor de 500: adopta el valor 3

 - c) Relación entre Superficie cubierta y Superficie total
 - Hasta 0,2: adopta el valor 0
 - De 0,21 hasta 0,5: adopta el valor 1
 - De 0,51 a 0,81: adopta el valor 2
 - De 0,81 a 1,0: adopta el valor 3.

- Localización (Lo): se tendrá en cuenta:
 - a) Zona
 - Parque industrial: adopta el valor 0
 - Industrial Exclusiva y Rural: adopta el valor 1
 - El resto de las zonas: adopta el valor 2

 - b) Infraestructura de servicios. Por la carencia de cada uno de ellos se asigna 0,5:
 - Agua
 - Cloaca
 - Luz
 - Gas

Finalmente, de acuerdo a los valores resultantes de NCA, los establecimientos industriales se clasifican como:

Primera Categoría: hasta 11;
 Segunda Categoría: de 12 a 25;
 Tercera Categoría: mayor de 25.

El Mapa 82 y la Tabla 37 dan cuenta de la localización de las industrias discriminadas según la categoría:

Tabla 37. Cantidad de establecimientos industriales según NCA

Subcuenca	Primera categoría	Segunda categoría	Tercera categoría	Totales
A1	--	2	--	2
A2	--	--	--	--
A3	--	--	1	1
A4	--	--	--	--
A5	2	--	--	2
M1	--	--	--	--
M2	2	--	--	2
M3	1	--	--	1
B1	1	2	3	6
B2	10	4	--	14
B3	3	2	3	8
B4	4	2	--	6

A partir de dicha información se generó un mapa donde se visualiza el patrón de localización industrial ponderado por NCA; para ello se adjudicó el factor de ponderación denominado “factor NCA” a cada industria según el NCA (dado que industrias de categoría 3 ejercen un mayor impacto negativo sobre el ambiente). De esta manera se obtiene (Ecuación 27):

$$\text{Amenaza industrias (NCA)} = \text{Subtotal 1} + \text{Subtotal 2} + \text{Subtotal 3}$$

Donde:

Subtotal 1: n° establecimientos NCA1 x 1;

Subtotal 2: n° establecimientos NCA2 x 2 y

Subtotal 3: n° establecimientos NCA3 x 3.

Los valores 1,2 y 3 son los “factores NCA”.

Este mismo análisis se efectuó con todas las subcuencas, y luego a partir de los valores obtenidos se realizó un análisis de frecuencia determinándose 5 rangos consistentes, que dan cuenta de los diferentes grados de amenaza frente a la contaminación potencial por parte de las industrias (Tabla 38 - Mapa 83):

Tabla 38. Rangos establecidos para la variable establecimientos industriales

Rango de la variable	Índice NCA (*)
0-1	1
2-4	2
5-9	3
10-14	4
15-18	5

Nota:

(*) de menor a mayor se incrementa la amenaza.

V.4.b.ii. Estudio fisicoquímico de los cursos de agua superficial

Para llevar a cabo este estudio se realizaron diferentes actividades relacionadas con el diseño y toma de muestras de agua, análisis *in situ* y en laboratorio, provenientes de los cursos de agua superficial. En el marco del proyecto “Manejo integrado de cuencas hídricas de la RMBA”⁴⁶, el Área Ecología Urbana (UNGS) realizó el diseño de muestreo, mientras que el Área Química Ambiental (UNGS) la toma de muestras y las determinaciones en laboratorio.

- Selección de los parámetros de calidad de agua superficial. Propiedades y características.

In situ se analizaron los siguientes parámetros:

pH, temperatura y conductividad eléctrica (cuyas propiedades fueron explicadas en la Sección V.2.c.iii.), **turbidez** y **Oxígeno Disuelto (OD)** se comentan a continuación.

Se midió la concentración de **OD** por ser un gas muy relevante en la dinámica de las aguas; su presencia en el agua es un condicionante fundamental para el desarrollo de la vida acuática, evitando la descomposición anaerobia de la materia orgánica.

Las fuentes de oxígeno en el agua son la aireación y la fotosíntesis de las algas; mientras que la remoción se debe a la respiración de los vegetales, demanda química de oxígeno de materiales orgánicos y sedimentos, de aireación, sobresaturación y reducción de orgánicos. Las aguas superficiales no contaminadas suelen estar bien oxigenadas e incluso sobresaturadas. La oxigenación en un agua natural es mayor durante el día que en la noche, ya que en ausencia de iluminación la fotosíntesis cesa, mientras que el consumo de oxígeno en funciones respiratorias se mantiene.

Cuando un agua natural recibe materias reductoras orgánicas o inorgánicas, normalmente como consecuencia de un proceso de contaminación, su contenido en oxígeno disminuye, alcanzándose condiciones anaerobias si la cantidad de oxígeno utilizado en satisfacer la demanda de este elemento es superior a la capacidad de aireación de la masa de agua considerada.

También se midió la **turbidez** por ser un parámetro útil de calidad del agua, dado que mide la presencia de partículas en suspensión; influye en la turbidez del agua la presencia

⁴⁶ PICT 99-01-06624.

de: fitoplancton, sedimentos procedentes de la erosión o resuspendidos del fondo, descarga de efluentes y crecimiento de las algas, entre otros.

En laboratorio se analizaron los parámetros: **cloruros, nitratos, cadmio, cobre, plomo, zinc, amonio, nitritos y Demanda Química de Oxígeno (DQO)**. Los seis primeros fueron comentados en la Sección V.2.c.iii.; a continuación se desarrollan los tres últimos analitos de la lista.

Las aguas naturales, además de las sustancias minerales que contienen disueltas procedentes de las rocas y sedimentos con los que estuvieron en contacto, llevan en suspensión o en disolución, sustancias orgánicas que tienen su origen en el lavado de los suelos (ácidos húmicos), o en el metabolismo de los organismos que viven en ellas (formadas por hidratos de carbono, aminas, amidas, proteínas, lípidos, pigmentos, vitaminas, hormonas, etc.). Las fuentes externas (artificiales) que provocan una contaminación orgánica son los desechos domésticos, los cloacales, los que provienen del procesamiento y manufactura de alimentos y bebidas y de las industrias que procesan materiales naturales y detergentes de lavado y de los animales. El contenido global de la materia orgánica oxidada por vía química del agua se determinó mediante el ensayo **DQO**.

Asimismo, también se analizó la concentración de los diferentes compuestos de nitrógeno, por ser uno de los nutrientes más importantes, cuyas concentraciones en agua se incrementan notablemente debido a las actividades humanas. El **amonio (NH_4^+)** es un producto terminal de los procesos industriales y del metabolismo de los desechos orgánicos de las plantas de tratamiento; mientras que el **nitrito (NO_2)** es la especie química del nitrógeno que se halla en menores cantidades en aguas superficiales, es muy inestable en presencia de oxígeno y representa una forma intermedia entre el amonio y el nitrato.

- **Diseño de muestreo.** Si bien fueron planificados muestreos estacionales, dado que los resultados de cada parámetro volcaron valores menores a los niveles guía para uso recreativo con contacto directo establecidos por los organismos empleados en este trabajo, por decisión de las dos Áreas participantes del proyecto, sólo se realizaron tres campañas semestrales en las estaciones de primavera y otoño (octubre 2001, marzo y octubre 2002).

El diseño de muestreo fue elaborado con el fin de detectar posibles fuentes de contaminación que afecten tanto al arroyo principal como a los afluentes. En la Tabla 39 se describen los 14 sitios de muestreo.

Tabla 39. Sitios de muestreo de agua superficial

Sitio de muestreo	Aporte de la contaminación...	Usos de suelo/Actividades
LC1	...de la naciente	Casas quinta y viviendas de bajos recursos, calles sin asfaltar, espacios abiertos con pastizales. Pollería desactivada.
T1A	...de la naciente	Floricultura y horticultura. Barrios privados y countries (Barrio Santa Ana).
LC2	...del A° Las Catonas, aguas arriba de la confluencia con el A° Arias	Rural, floricultura y horticultura. Sin viviendas particulares alrededor. Barrio privado San Diego (ubicado entre A° Arias y A° Las Catonas).
T1B	...del A° Arias, aguas arriba de la confluencia con el A° Las Catonas y del Landfarming.	Rural, floricultura y horticultura. Barrios privados Santa Ana (el Arroyo Arias atraviesa este barrio después de T1A). Muy pocas construcciones y viviendas particulares cerca. Landfarming cercano.
T2	...de las nacientes del A° Tributario (2)	Urbano alta densidad, con viviendas precarias. Establecimientos industriales
T3	...del A° Tributario (3)	Rural. Escasas viviendas.
LC3	...del A° Las Catonas aguas abajo de los anteriores sitios de muestreo	Agropecuaria, industrial y urbano, con viviendas precarias y más consolidadas.
LC4	...del A° Las Catonas, aguas arriba de la confluencia con el A° Los Perros y del Complejo Habitacional Las Catonas	Zona muy urbanizada, con asentamientos precarios en expansión. Industrias varias (frigorífico al lado del sitio de muestreo).
T4A	...de las nacientes del A° Los Perros	Zona muy urbanizada, viviendas precarias. Industrias varias.
T4B	...del A° Los Perros, aguas arriba de la confluencia con el A° Las Catonas	Zona muy urbanizada, viviendas precarias. Industrias varias, la más importante: "5mentario" (jugos) (que descarga al arroyo).
LC5	...del A° Las Catonas, aguas abajo de la confluencia del A° Los Perros y del Complejo Habitacional Las Catonas	Zona más urbanizada de la cuenca, debido al Complejo Habitacional Las Catonas (monoblocks). Este complejo está formado por 1500 viviendas y 7000 habitantes. También es la zona más industrial.
T5	... del A° Tributario (5)	Urbano y presencia de varias industrias, siendo la más importante Pfizer.
LC6	...del A° Las Catonas, aguas arriba de la confluencia con el Río Reconquista	Urbano, viviendas muy precarias. Terrenos abiertos, con pastizales, sin cultivar.
T6	... del A° Tributario (6)	Urbano con viviendas muy precarias.

Nota: LC: Las Catonas; T: Tributario; T1: Tributario Arias; T4: Tributario Los Perros.

En el Mapa 84 se presenta la localización de los sitios de muestreo.

- **Medición de parámetros *in situ* y recolección de muestras.** Con la sonda multiparamétrica Horiba U-10 se midieron *in situ*, los parámetros: pH, temperatura, conductividad eléctrica, OD y turbidez.

Luego, para su posterior análisis en laboratorio, las botellas se llenaron impidiendo al máximo la aireación y la agitación del agua, eliminando por completo la presencia de burbujas de aire. Todas las muestras fueron recolectadas en botellas de polietileno de 1 litro, salvo para los análisis de metales pesados, cuyas botellas fueron previamente tratadas con ácido nítrico 1 molar para evitar que queden adheridos a las paredes plásticas.

- **Almacenamiento de muestras.** Todas las muestras fueron almacenadas a 4 °C y en oscuridad para minimizar las reacciones químicas y biológicas que pudieran alterar la composición original del agua muestreada.

- **Análisis químico en laboratorio.** Todas las muestras fueron analizadas en el Laboratorio de Química Ambiental del Instituto de Ciencias de la UNGS (Vullo *et al*, 2004).

En la **Tabla 40** se describe la metodología empleada para el análisis de los compuestos y los valores guía adoptados por los diferentes organismos (los mismos que se analizaron para agua subterránea, pero para los usos recreación con contacto directo y protección de la vida acuática).

Tabla 40. Métodos empleados para el análisis de los parámetros fisicoquímicos de agua superficial y valores guía adoptados

		Valores guía para los usos: a. Recreación con contacto directo; b. Protección de la vida acuática		
		Nacional ⁽¹⁾		Internacional
Parámetro	Métodos	SRHN	Ley 24.051 (DP)	CEQG
PH (U pH)	Sonda Horiba U-10	a. 6,5-8,5 b. 6,5-8,5	a. * b. *	a. 5-9 b. 6,5-9
T° (°C)	Sonda Horiba U-10	a. * b. *	a. * b. *	a. * b. *
Cond. (µS/cm)	Sonda Horiba U-10	a. * b. *	a. * b. *	a. * b. *
Turbidez (UNT)	Sonda Horiba U-10	a. * b. *	a. * b. *	a. * b. *
OD (mg/l)	Sonda Horiba U-10	a. ≥ 5 b. ≥ 5	a. * b. *	a. * b. 5,5-9,5
Cloruros (Cl ⁻) (mg/l)	APHA, AWWA, WEF Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater	a. * b. *	a. * b. *	a. * b. *
Amonio (NH ₄ ⁺) (mgN/l)	APHA, AWWA, WEF Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater	a. * b. 0,02	a. * b. 1,12	a. * b. *
Nitritos (NO ₂ ⁻) (mgN/l)	APHA, AWWA, WEF Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater	a. * b. ≤ 0,06	a. * b. 0,018	a. * b. 0,018
Nitratos (NO ₃ ⁻) (mgN/l)	APHA, AWWA, WEF Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater	a. * b. *	a. * b. *	a. * b. *
DQO (mg/l)	APHA, AWWA, WEF Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater	a. * b. *	a. * b. *	a. * b. *

Continuación Tabla 40

		Valores guía para los usos: a. Recreación con contacto directo; b. Protección de la vida acuática		
		Nacional ⁽¹⁾		Internacional
Parámetro	Métodos	SRHN	Ley 24.051 (DP)	CEQG
Cadmio (Cd²⁺) (µg/l)	APHA, AWWA, WEF Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater method 3130 B.	a. 5 b. 0,2	a. * b. 0,2	a. * b. 0,017
Cobre (Cu²⁺) (µg/l)	APHA, AWWA, WEF Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater method 3130 B.	a. * b. 2	a. * b. 2	a. * b. 200-1.000
Plomo (Pb²⁺) (µg/l)	APHA, AWWA, WEF Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater method 3130 B.	a. * b. 1	a. * b. 1	a. * b. 200
Zinc (Zn²⁺) (µg/l)	APHA, AWWA, WEF Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater method 3130 B.	a. ≤ 5.000 b. ≤ 30	a. * b. 30	a. * b. 1000-5000

Notas:

⁽¹⁾: el CCA (Código Alimentario Argentino, 1994) no registra valores guía para los usos: recreación con contacto directo y protección de la vida acuática.

La Ley Provincial 11.820 (incorporada en el análisis de calidad de agua de consumo), tampoco registra valores guía para los usos: recreación con contacto directo y protección de la vida acuática.

SRHN: Secretaría de Recursos Hídricos de la Nación (2005); DP: Desechos Peligrosos (1993); CEQG: Canadian Environmental Quality Guidelines (2002);

(-)/100 ml: ausencia en 100 ml.

(*): No se adopta valor de referencia.

Siendo el objetivo específico la cuantificación del riesgo poblacional provocado por la contaminación del recurso hídrico superficial, se analiza la calidad del agua para el uso de interés de este trabajo “recreación con contacto directo”:

- oxígeno disuelto: con excepción de unos pocos sitios que brindaron valores muy cercanos al límite superior establecido por la SRHN (8,5), el resto dio por debajo del valor guía; asimismo todos fueron por debajo de lo que establece la norma internacional canadiense;
- temperatura: ninguno de los organismos adoptados en este trabajo establece límites;
- conductividad: ninguno de los organismos adoptados en este trabajo establece límites;
- turbidez: ninguno de los organismos adoptados en este trabajo establece límites;
- cloruros: ninguno de los organismos adoptados en este trabajo establece límites;
- amonio: ninguno de los organismos adoptados en este trabajo establece límites;
- nitritos: ninguno de los organismos adoptados en este trabajo establece límites;
- nitratos: ninguno de los organismos adoptados en este trabajo establece límites;
- DQO: ninguno de los organismos adoptados en este trabajo establece límites;
- cadmio: con excepción de los sitios T6 y LC6 (desembocadura) de la segunda campaña, en el resto de los sitios de muestreo el cadmio dio por debajo del valor guía que establece la SRHN (los otros organismos considerados no fijan límite);
- cobre: ninguno de los organismos adoptados en este trabajo establece límites;
- plomo: ninguno de los organismos adoptados en este trabajo establece límites;
- zinc: valor por debajo de lo que establece la SRHN (único organismo que fija límite).

Dado que los resultados fueron o bien menores a los sugeridos por los organismos o, como ocurre en la mayoría de los casos, no se establece límite para este uso, no es posible elaborar un mapa de amenaza para esta variable y por ende tampoco el de riesgo poblacional.

Es llamativo que ninguna de las leyes consultadas (nacional, provincial e internacional), establecen valores guía para los parámetros analizados para el uso recreativo; esto significa que no consideran ni la gravedad ni la frecuencia relacionada con los efectos de la salud. Es importante destacar que muchos de los peligros asociados con el uso recreativo del ambiente acuático son de naturaleza instantánea, los accidentes y exposiciones a infecciones microbiológicas pueden ocurrir en periodos muy cortos de tiempo.

No obstante ello, con el fin de tener mayor información sobre la calidad del agua con límites más restrictivos, se analiza el uso “protección de la vida acuática” establecido por el organismo nacional “SRHN” (dado que considera más parámetros que la Ley 24.051). Se comparan valores promedio, mínimos y máximos entre subcuencas (Tabla 41).

Tabla 41. Monitoreo del agua superficial. Análisis por subcuencas

Subc.	Valores	pH	T (°C) (1)	OD (mg/L)	Cond. (MS/cm) (1)	Turbide z (1)	Cl ⁻ (mg/L) (1)	NH ₄ ⁺ (mgN/L)	NO ₂ ⁻ (mgN/L)	NO ₃ ⁻ (mgN/L) (1)	DQO (mg/L) (1)	Cd ²⁺ (μg/L) (2)	Cu ²⁺ (μg/L)	Pb ²⁺ (μg/L)	Zn ²⁺ (μg/L)
A1	Promedio	7,65	22,4	5,82	0,67	91	--	--	--	2,63	77,75	--	20,25	24,27	32,62
	Mín.	6,89	20,8	1,49	0,23	37	<2	<0,06	<0,01	0,68	36	<0,5	2,6	13,1	3,9
	Máx.	8,14	25,9	8,03	1,36	230	110,8	6,4	0,43	4,41	119	0,11	56	34	72
A2	Promedio	8,11	23,42	8,97	0,54	58	17,15	0,10	--	2,61	71,5	<0,5	25,48	72,77	69,38
	Mín.	7,42	20	3,1	0,27	17	10,8	0,06	<0,01	0,53	67	<0,5	13	17	4,9
	Máx.	8,86	28,2	13,03	0,78	151	25,2	0,17	0,1	5,45	76	<0,5	37,6	182	149
A3	Promedio	7,95	22,03	6,75	0,98	68	58,80	2,60	0,33	3,20	50	--	11,83	20,4	29,9
	Mín.	7,76	20,9	5,5	0,67	37	30	0,28	0,23	1,94	36	<0,5	2,6	13,1	6,8
	Máx.	8,14	22,8	8,03	1,36	104	110,8	6,4	0,43	4,41	64	0,11	18	30	53
A4	Promedio	7,95	22,03	6,75	0,98	68	58,80	2,60	0,33	3,20	50	--	11,83	20,4	29,9
	Mín.	7,76	20,9	5,5	0,67	37	30	0,28	0,23	1,94	36	<0,5	2,6	13,1	6,8
	Máx.	8,14	22,8	8,03	1,36	104	110,8	6,4	0,43	4,41	64	0,11	18	30	53
A5	Promedio	8,57	22	7,06	1,36	333	193,03	1,90	1,15	3,72	237,5	--	23	41,33	44,43
	Mín.	8,56	20,5	4,43	0,68	192	74,2	0,35	0,8	3,13	151	<0,5	16	30	4,3
	Máx.	8,58	23,1	8,4	1,9	528	254	3,87	1,5	4,09	324	1	34	57	69
M1	Promedio	8,48	23,73	9	0,72	166	14	0,10	0,09	4,11	55,5	<0,5	18,37	17,77	28,4
	Mín.	8,25	22	7,84	0,69	114	10	0,06	0,05	2,78	52	<0,5	12,10	10,40	14,2
	Máx.	8,76	24,7	10,8	0,74	266	16	0,13	0,13	6,08	59	<0,5	24	25,90	55
M2	Promedio	8,43	23,223	9,79	0,82	92	24,7	0,56	0,18	3,91	59	--	16,03	33,67	35,43
	Mín.	8,16	22,1	7,33	0,66	33	18	0,07	0,14	2,9	49	<0,5	10	22	6,3
	Máx.	8,72	25,4	11,07	1,03	172	31,1	1,23	0,22	5,42	69	0,7	27,1	53	79
M3	Promedio	8,41	23,6	9,91	0,82	70	27,5	0,4	0,21	4,33	70,75	--	15,72	50,5	41,72

	Min.	8,16	20,4	7,33	0,66	33	18	0,06	0,14	2,9	11	<0,5	10	22	6,3
--	-------------	------	------	------	------	----	----	------	------	-----	----	------	----	----	-----

Máx.	8,72	27,7	11,7	1,03	172	45,2	1,23	0,33	5,56	69	0,7	27,1	109	91
-------------	-------------	------	------	------	-----	------	-------------	-------------	------	----	------------	-------------	------------	-----------

Continuación Tabla 41

B1	Promedio	8,16	23,4	8,44	0,86	51	32,14	2,24	0,27	4,7	39,5	<0,5	20,52	69	45,21
	Mín.	7,64	18,4	1,5	0,50	25	20,5	0,06	0,14	2,9	11	<0,5	12,8	31	4,4
	Máx.	8,71	27,7	11,7	1,05	106	45,2	9,37	0,46	7,15	79	<0,5	51	213	130
B2	Promedio	8,34	25,4	9,8	0,93	63	36,57	1,41	0,32	3,76	89	<0,5	20,02	58,28	24,27
	Mín.	7,88	23,4	4,44	0,60	44	18,9	0,66	0,13	1,72	31	<0,5	14	22	4,5
	Máx.	8,68	27	16,18	1,23	97	59,8	2,38	0,4	6,64	139	<0,5	35	170	83
B3	Promedio	8,20	22,9	8,35	0,93	51,33	33,23	3,28	0,34	4,48	53	--	16,07	73,10	42,08
	Mín.	7,99	17,8	5,87	0,77	17	26	0,76	0,14	3,22	19	<0,5	12,10	27	4,8
	Máx.	8,60	26,5	11,58	1,06	106	42,70	9,37	0,67	6,81	79	4,6	26,5	213	106
B4	Promedio	7,99	20,57	5,85	1,05	25,17	39,93	1,53	0,37	9,19	33	--	17,02	48	52,8
	Mín.	7,90	17,40	4,21	0,78	12	30,30	0,15	0,19	3,22	19	<0,5	9	27	5
	Máx.	8,09	24	7,22	1,27	43	61,80	4,12	0,67	15,60	56	6,10	29	103	106

Notas:

LC: Las Catonas; T: Tributario.

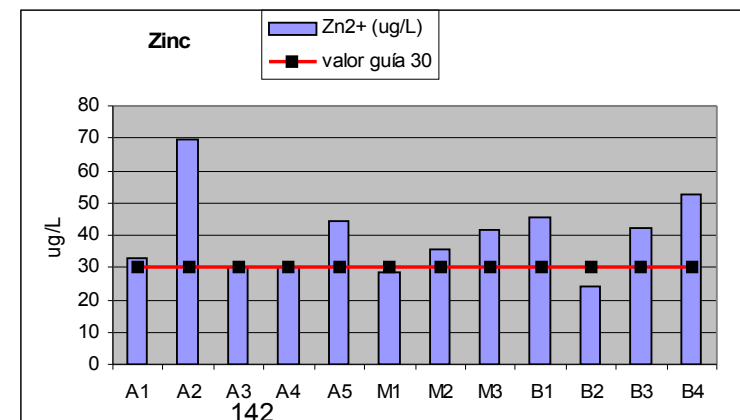
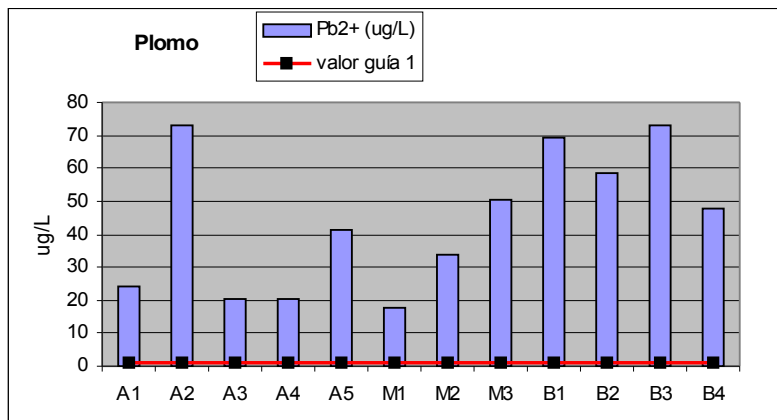
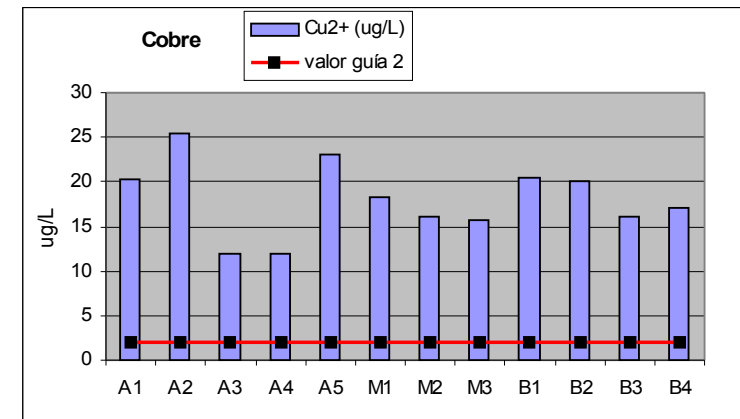
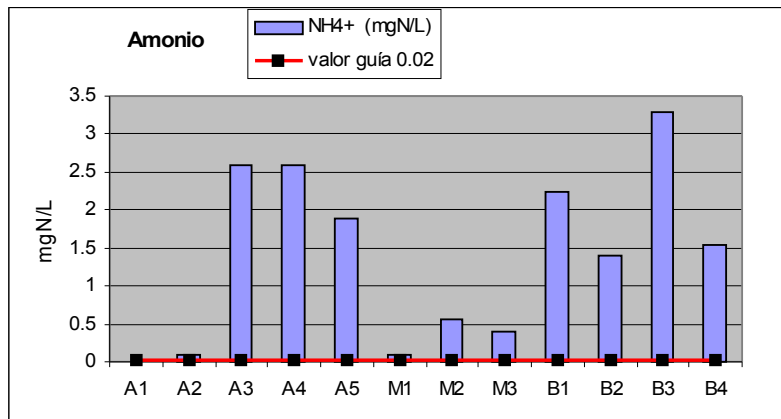
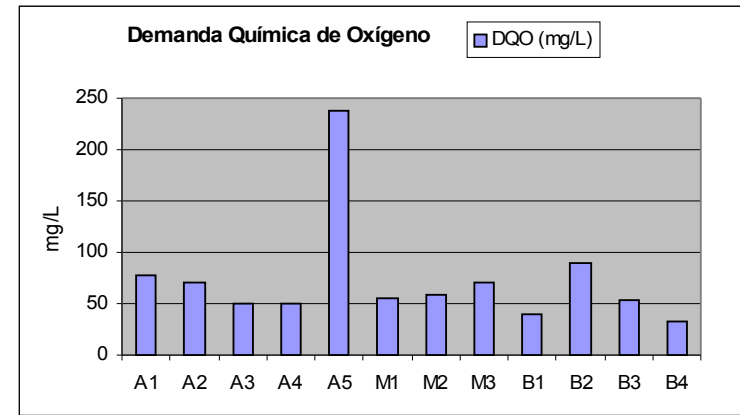
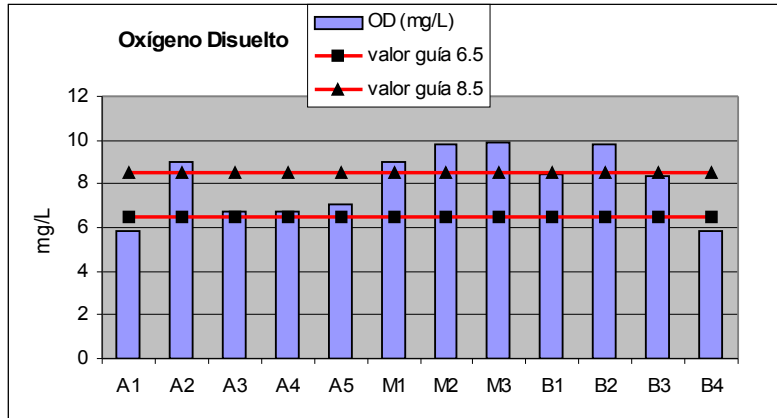
Los sitios de muestreo inciden de la siguiente manera en cada subcuenca: T1A y T1B a la subcuenca A1; LC1 y LC2 a la A2; T1B a las A3 y A4; T2 a la A5; T3 a la M1; LC3 a la M2; LC3 y LC4 a la M3; LC4, T5 y LC5 a la B1; T4A y T4B a la B2; LC5 y LC6 a la B3; T6 y LC6 a la B4.

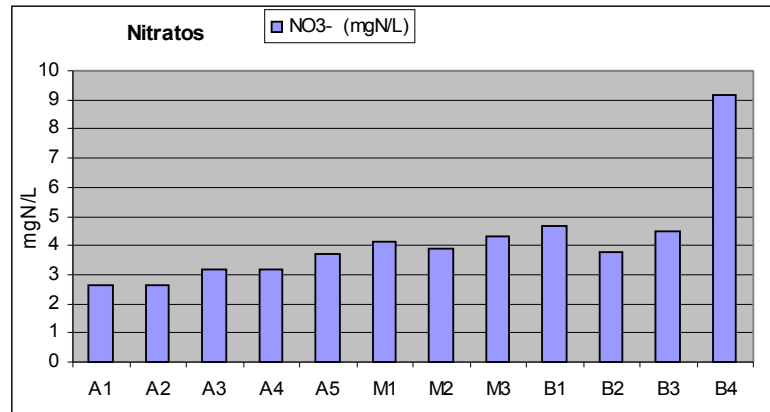
(1): la SRHN (ni los otros organismos adoptados en este trabajo), fijan límite para protección de la vida acuática para estos parámetros.

(2): dado que el límite de detección del equipo es mayor al valor guía establecido, no es posible determinar si lo supera.

10: resultados fuera del rango y/o por encima del valor guía establecido por la SRHN (2205), para el uso protección de la vida acuática.

Para conocer el comportamiento de algunos parámetros en las subcuencas, se grafican los promedios de: OD, DQO, amonio, cobre, plomo y zinc (Gráfico 4):





Respecto al **OD**, sólo dos subcuencas (A1 y B4) presentaron el promedio de la concentración de este gas por debajo del rango que establece la SRHN; del resto, las A2, M1, M2, M3 y B2 excedieron el límite superior. No obstante estas observaciones, ningún promedio resulta de una magnitud preocupante.

Si bien para el parámetro **DQO** no está fijado un valor guía, se lo graficó para conocer qué sucede con la materia orgánica; claramente la subcuenca A5 arrojó el valor más alto, siguiéndoles con elevadas concentraciones las subcuencas B2, A1, A2 y M3.

Con referencia al **amonio**, si bien todos los promedios se hallaron por encima del valor guía permitido, tres de las subcuencas pertenecientes a la cuenca alta, y todas las del sector bajo, fueron las que mayores concentraciones se hallaron.

Luego, los **nitratos** marcan una tendencia de aumento hacia la desembocadura, con valores promedio de 3,7 mgN/L, para luego alcanzar una concentración superior a 9 mgN/L en la subcuenca baja B4.

Para el caso del **cobre** y **plomo**, en todas las subcuencas los valores fueron muy superiores a los niveles guía, destacándose en ambos casos, la A2 como la de mayor promedio.

Finalmente, para el **zinc**, las subcuencas con promedio superior al valor guía fueron las: A2, A5, M2, M3, B1, B3, B4 y A5, siendo nuevamente esta última que mayor promedio presentó.

Este análisis muestra que la calidad del recurso hídrico superficial se encuentra deteriorado respecto al uso "protección de la vida acuática", dado que se encontraron evidencias importantes de contaminación, especialmente por metales pesados.

V.4.c. Riesgo poblacional frente a la contaminación del recurso hídrico superficial, Cuenca Las Catonas

Si bien se cuenta con el mapa de vulnerabilidad social por subcuencas, no es posible generar el de amenaza (y por ende el de riesgo poblacional). Las dos variables de amenaza analizadas fueron: estado fisicoquímico del agua y tipo y número de establecimientos industriales. Respecto a la primer variable, tal como se mencionó en la

sección anterior, el criterio adoptado en este trabajo para establecer la amenaza por contaminación fisicoquímica, es comparar los valores obtenidos con los de los niveles guía establecidos por los organismos de Argentina respecto al uso recreativo con contacto directo. Dado que en todos los sitios de muestreo, los resultados fueron o bien menores a los sugeridos o, como ocurre en la mayoría de los casos no se establece límite para este uso, no fue posible elaborar el mapa de amenaza.

Respecto a las industrias, si bien fue posible analizar este componente por subcuenca, no es considerada para establecer la amenaza total dada por contaminación, debido a que esta variable se considera como una "amenaza potencial", puesto que no fue factible muestrear directamente del vuelco de los efluentes de cada establecimiento.

VI. Conclusiones y recomendaciones

Las conclusiones se dividen en dos secciones, una referente a los resultados obtenidos y otra al desarrollo metodológico e innovaciones del trabajo.

VI.1. Acerca de los resultados obtenidos

Servicio de infraestructura de agua potable y saneamiento

- Al igual que en el resto del Conurbano, en la zona estudiada se registraron altas tasas de **incremento poblacional** entre las décadas del 60 y 80, inducidas en su mayoría por el arribo de población rural que se vio atraída por el crecimiento industrial. Esto significó una demanda habitacional muy alta que el Municipio no estaba en condiciones de resolver. Así surgieron los loteos populares promovidos y localizados por agentes privados, dando como resultado una urbanización en islas inconexas que dificulta enormemente la provisión y el acceso a los servicios (Hardoy *et al*, 2005). En las áreas con baja densidad poblacional, el costo para la provisión de los servicios de agua potable y saneamiento es mayor que en las áreas urbanas densamente pobladas.
- El modelo de concesión tradicional (en este caso AGBA S.A.), no ha dado los beneficios previstos, especialmente en términos de movilizar recursos financieros y servir a los sectores de bajos ingresos. Debido a ello surgieron **modelos alternativos para la provisión de agua y saneamiento** (Hardoy *et al*, 2005) (en urbanizaciones formales e informales), que han incorporado a las distintas soluciones habitacionales, nuevos sistemas de redes de agua y/o cloaca denominada "sistemas autónomos o desvinculados".

Recurso hídrico subterráneo

- De la **comparación intercensal** entre los años 1991 y 2001 (INDEC) respecto a la tecnología de captación de agua, pueden observarse dos procesos: uno es el pasaje del empleo de bomba manual a bomba motor (Mapa 21 y Mapa 22) y el otro es que en aquellas áreas con mayor déficit habitacional, se reemplazaron los sistemas de captación domiciliaria, por los comunitarios o de redes públicas construidos fundamentalmente por el Ente del Conurbano durante la década del '90 (Mapa 23). Esta tendencia de mejora en el hábitat es muy importante dado que, como se vio y discutirá más adelante, el Acuífero Pampeano se encuentra en un estado alarmante de deterioro.

- Como se aprecia en el Mapa 36, el **espesor de la zona saturada** de toda la cuenca es muy delgado, dominando valores entre 2 y 5 m. Por ello toda perturbación de contaminación en superficie (p. e. acumulación de residuos) o subsuperficialmente (por ejemplo la descarga de excretas en pozos absorbentes), alcanzará rápidamente al agua freática en el Acuífero Pampeano.

La subcuenca **B4** es la de mayor **densidad poblacional** (Mapa 32) (entre 67 y 100 hab/ha), siguiéndole **B1**, **B2** y **M3** con valores de entre 41,4 y 67,64 hab/ha. La subcuenca B4 tiene una cantidad de gente a partir de la cual se compromete altamente la calidad del recurso hídrico subterráneo, por lo que impulsaría a las prestadoras de servicio a dotar de por lo menos agua mediante red. El hecho que AGBA S.A. no haya realizado obras de infraestructura de saneamiento derivó en que muchos barrios (por ejemplo el Complejo Habitacional Las Catonas), hayan construido redes autónomas que por no poder conectarse a la red global, construyen su propia planta de tratamiento de aguas servidas con altísima incidencia en los costos de urbanización. Además, el consorcio no puede garantizar en su totalidad la operación de la planta, lo que determina que muchas veces se proceda al volcado de efluentes crudos al curso de agua superficial.

Por todo lo expuesto se desprende la necesidad imperiosa de extender la red cloacal, para no seguir comprometiendo el recurso, y la de agua, para garantizar la salud de la población.

Respecto a la disposición domiciliaria de excretas, un elemento que ha brindado resultados satisfactorios y que lamentablemente se ha dejado de emplear en los últimos tiempos, es la cámara séptica. Dicha cámara permite la retención de los sólidos y la degradación bacteriana de los mismos facilitando sólo el acceso de los líquidos al pozo absorbente. De esta forma se atenúa la contaminación y se mejora el funcionamiento hidráulico de dicho pozo.

Retomando la variable densidad poblacional, se puede inferir que se incrementará, tal como sucedió en el periodo de 10 años: en el año 1991 los radios censales (INDEC) eran 153, mientras que en el último censo fueron de 325 (Mapa 11), correspondiéndose el mayor crecimiento con los involucrados a los cursos de agua.

- Las variables: fuente predominante de captación del recurso, vía de disposición de excretas y densidad poblacional dieron por resultado subcuencas con diferentes índices de **vulnerabilidad social frente a la contaminación del recurso hídrico subterráneo** (Mapa 30, Mapa 31, Mapa 33) y (Ecuación 6). El Mapa 34 da cuenta del estudio integral, siendo las subcuencas **B1** y **B4** donde la población es más vulnerable.
- Al comparar la composición química de los acuíferos Pampeano y Puelche, se observa que los aniones se comportan prácticamente de la misma manera, pero no sucede lo mismo con los cationes. Respecto a este último grupo, existe en el Puelche un

importante incremento (comparado con el Pampeano) del ión sodio sobre el calcio y el magnesio. Este comportamiento puede explicarse debido al intercambio iónico, por el que el calcio y el magnesio quedan retenidos en la estructura cristalina de algunas arcillas⁴⁷, mientras que el sodio pasa a la solución. Este intercambio es particularmente activo en el limo arcilloso (acuitardo) que separa a ambos acuíferos, siendo el responsable que el agua del Pampeano que recarga al Puelche, se ablande naturalmente haciéndose más sódica. Este incremento del catión sodio debe ser tomado muy en cuenta dado que, como se expuso en la Sección II.2.b.i., si bien ninguna norma nacional ni provincial argentina establece límite para este parámetro, la abundante ingesta de sodio es nociva para la salud, dado que puede afectar la tensión arterial y la actividad renal. Se reitera entonces incorporar en la normativa de la potabilidad al sodio como un limitante de la misma, tal como lo considera por ejemplo Canadá, asignándole un límite de 200 mg/l (CEQG, 2002). Asimismo la CEQG es más restrictiva respecto a los compuestos plomo y arsénico, por lo que esto también debería ser tomado en cuenta por los organismos tanto nacionales como provinciales de Argentina.

- En relación a la **calidad del recurso subterráneo**, tanto la *conductividad* como los iones *cloruros*, *sulfatos* y *nitratos*, se presentan en mayores concentraciones en el Acuífero Pampeano que en el Puelche. Luego, respecto a los metales pesados, el *cadmio* siempre se encontró por debajo del límite de detección del aparato; los valores de *romo* y *zinc* fueron mayores en el Pampeano, mientras que los metales *cobre*, *plomo* y *arsénico* presentaron valores muy similares en ambos acuíferos. Resulta importante destacar que ninguna de las sustancias analizadas, salvo el nitrato, se presenta en concentraciones mayores a los valores guía establecidos por los organismos argentinos considerados en este trabajo, para el agua para consumo humano.

No se hallaron evidencias de contaminación por *hidrocarburos totales* ni *organoclorados* en ninguno de los dos acuíferos, indicando que el horizonte A del suelo presenta abundante materia orgánica, que actúa como filtro natural muy efectivo respecto a la movilidad de este tipo de compuestos.

Al comparar las isoconcentraciones de nitratos se observa una clara diferencia entre acuíferos. En el Puelche (Mapa 49) se manifiesta una condición predominante de baja amenaza en prácticamente toda la cuenca, deteriorándose el recurso de forma gradual, hacia la desembocadura. Sin embargo de la comparación de este mapa con la diferencia de los potenciales hidráulicos (Mapa 38), surge que en el sector E de la cuenca, donde la vulnerabilidad es baja (diferencia de potenciales hidráulicos positivos), presentan mayores contenidos de nitratos que en aquellos donde la vulnerabilidad intrínseca aparece como alta (diferencia de potenciales hidráulicos negativos).

⁴⁷ Ver Sección II.2.b.i.

En cambio el Pampeano (Mapa 48), presenta condiciones diversas de contaminación en toda la cuenca; destacándose dos zonas de alto deterioro, coincidiendo parte de una de éstas con la misma detectada en el Puelche.

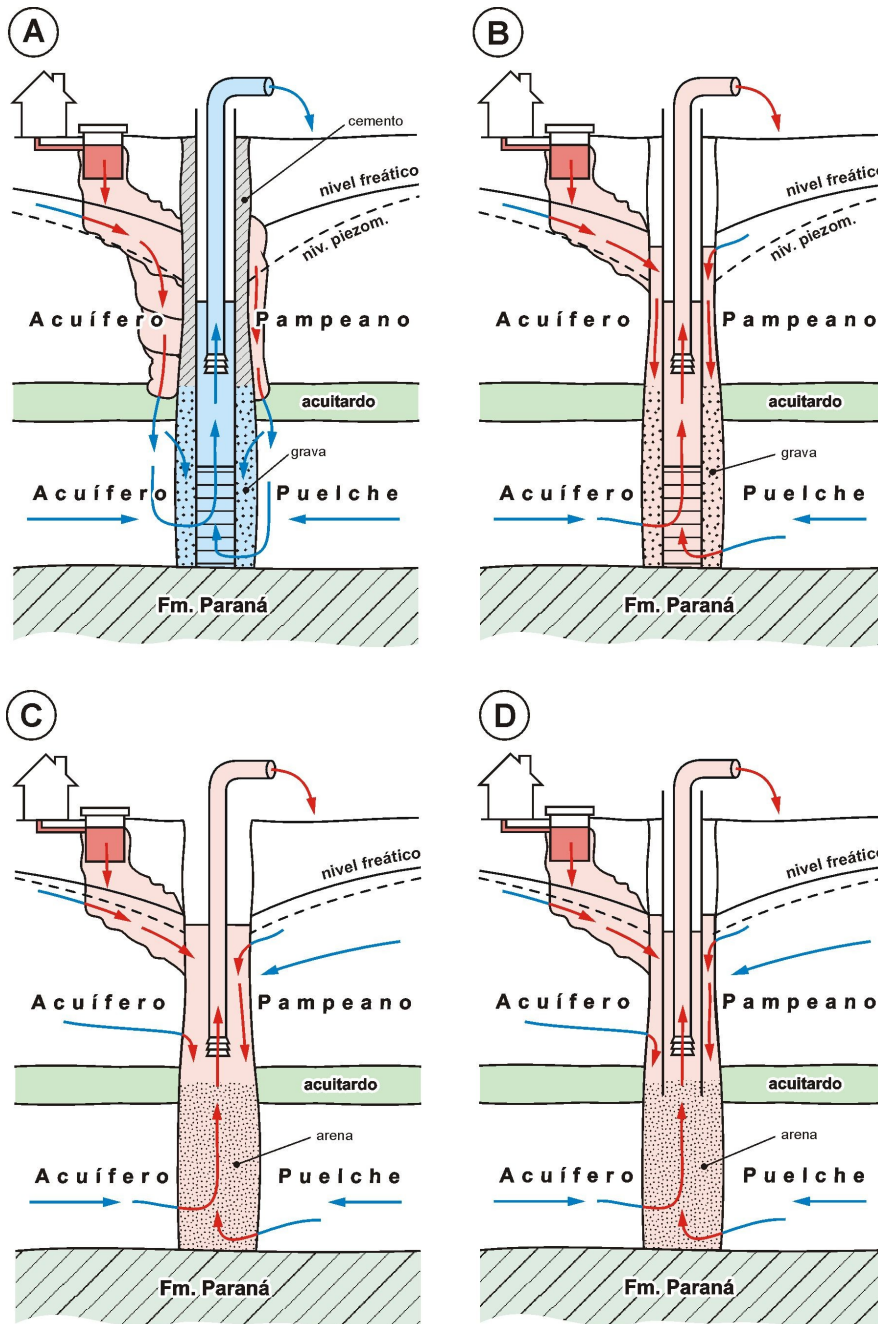
Al analizar la "amenaza por la concentración de nitratos" obviamente se mantiene el mismo patrón, encontrando que en el Pampeano (Mapa 58) existe una mayor presión sobre el recurso, manifestado esto en 2 subcuencas (**B1** y **B4**) ubicadas en el sector bajo, con mayor índice de amenaza, disminuyendo dicho índice hacia el sector alto de la cuenca. En el Puelche (Mapa 59) solamente una subcuenca (**B4**) presenta mayor amenaza, mientras que en el resto de las subcuencas se observa el índice menor (1).

En relación a la contaminación bacteriológica por *E. coli* en el Acuífero Pampeano, la situación es realmente alarmante, dado que salvo una subcuenca que arrojó índice de amenaza 4, el resto obtuvo el puntaje máximo de 5 (incluyendo a la **B4**) (Mapa 61), por lo que este acuífero se encuentra muy comprometido. Dado que en este trabajo sólo se analizó la presencia o ausencia de *E. coli* en 100 ml, resultaría conveniente determinar la concentración de bacterias (unidades formadoras de colonias/ml), así se podría clasificar mejor a las subcuencas en función de la cantidad.

- Es importante señalar que los datos correspondientes a la calidad de agua de consumo han sido transferidos a la comunidad donde se realizaron los muestreos, explicando para cada parámetro y situación, formas de prevención de ingesta de los contaminantes.
- Al aplicar el método **EKv de vulnerabilidad de acuíferos libres** (Auge, 2004) (Mapa 36), prácticamente toda la cuenca presenta vulnerabilidad intrínseca alta (salvo algunos sectores donde es media); por lo tanto se puede concluir que el Acuífero Pampeano es naturalmente muy susceptible a contaminarse, ya sea por agentes externos o internos al sistema. Luego, al analizar el **EKv ponderado** (Mapa 62), los índices de las subcuencas son altos y muy similares, variando entre 4,5 - 5 (incluyendo en este último valor a la **B4**).
- El mapa de **amenaza del Acuífero Pampeano** (Mapa 63) muestra cómo toda la cuenca se encuentra altamente comprometida, dado que los índices oscilan entre 4 y 5 (este último para las subcuencas **B1** y **B4**, entre otras). Por eso es tan importante que se hayan desarrollado y continúen desarrollándose, obras de infraestructura de saneamiento (agua y cloacas) y la ejecución de captaciones domiciliarias correctamente construidos; esto es utilizando cañerías y cementación para la aislación del agua freática. En el Gráfico 5 se aprecia el recorrido descendente del agua freática en un pozo cementado y en otro que no lo está. En el primero (A) el flujo debe atravesar toda la sección que va desde la superficie freática hasta el acuífero semiconfinado, recorrido que puede insumir varios meses, con una resistencia mayor

aún para atravesar el acuitardo. En este caso el acuífero libre, que puede asimilarse al Pampeano, actúa como un filtro natural efectivo frente a contaminantes como las bacterias, que no sobreviven más de 100 días fuera de su hábitat propicio (pozos negros o absorbentes). En el caso del pozo sin cementación (B) y aún sin cañería camisa (C), o con un encamisado incompleto (D), el flujo descendente se encausa por el espacio anular y alcanzando rápidamente al acuífero inferior (Puelche).

Gráfico 5. Pozo encamisado y cementado



Fuente: Auge (2005).

Referencias: **A:** Pozo encamisado y cementado, **B:** Pozo encamisado, sin cementar, **C:** Pozo sin encamisado ni cementación, **D:** Pozo parcialmente encamisado, sin cementación.

- Al aplicar el método $\Delta HT'$ de vulnerabilidad de acuíferos semiconfinados (Auge, 2003) (Mapa 38), prácticamente toda la cuenca presenta vulnerabilidad intrínseca alta, salvo un sector muy pequeño en la cuenca alta y otro un poco más grande localizado en el E que tienen vulnerabilidad media. Estos resultados indican que el Acuífero Puelche perteneciente a esta cuenca hidrogeológica, es altamente susceptible a contaminarse por el Pampeano, mediante flujo vertical descendente. Asimismo si se considera $T' = 5 \cdot 10^{-4} \text{ día}^{-1}$ (resistencia hidráulica que ofrece el sellante -acuitardo- al pasaje vertical del agua), se está frente a una vulnerabilidad intrínseca media.

- El mapa de **amenaza del Puelche** (Mapa 64), basado en los contenidos de nitratos, reitera que la subcuenca más comprometida es la **B4**.

- Respecto al **riesgo poblacional por subcuenca dado por contaminación del agua subterránea**, en el Acuífero Pampeano se detectó contaminación de grado medio a elevado en todas las subcuencas, aunque las **B1** y **B4** fueron las más comprometidas. El Acuífero Puelche, si bien se encuentra menos afectado, también presenta riesgo alto en las mismas subcuencas, particularmente en la **B4**.
 Esto resulta lógico toda vez que el Puelche está más protegido respecto de la contaminación debido a que se ubica debajo del Pampeano del que lo separa un estrato de escasa permeabilidad.

En resumen:

- **Comparando la situación de ambos acuíferos, el Pampeano presenta mayores índices de riesgo poblacional (fundamentalmente en las cuencas media y baja), ocupando además un área más extensa que en el Puelche;**

- **Si bien los índices de riesgo poblacional en el Puelche son menores a los obtenidos en el Pampeano, en ambos acuíferos las subcuencas más comprometidas son las B1 y B4.**

Inundaciones

- Las variables densidad poblacional y NBI dieron por resultado subcuencas con distintos índices de **vulnerabilidad social frente a las inundaciones** (Mapa 33 y Mapa 67), (Ecuación 15). El Mapa 68 da cuenta del estudio integral, distinguiéndose a la subcuenca **B4** como aquella donde la población es más vulnerable.
- En el estudio de la **amenaza dada por subcuencas frente a inundaciones** (Mapa 79) se consideraron las siguientes variables: permeabilidad hidráulica del suelo, topografía natural, tipo y orientación de las antropobarreras e impermeabilización de la cobertura edáfica. Del análisis surge que las subcuencas **B1** y **B4** son las más amenazadas frente a todas las variables. A su vez en la Sección V.3.c.i. se concluye que es en los meses de verano cuando se producen mayores precipitaciones, por lo que durante esta estación se deben tomar más precauciones.
- Del análisis del **riesgo poblacional frente a las inundaciones** surge que las cuencas media y baja son las más problemáticas, siendo las **B1** y **B4** las de mayor índice (17-25). (Mapa 80).

De la comparación entre la metodología propuesta y las obras hidráulicas proyectadas por la Municipalidad de Moreno para atenuar las inundaciones en los ámbitos más afectados (Mapa 81), surge una buena correlación entre ambos, dado que los mayores índices de riesgo poblacional y las obras de infraestructura hidráulica se sitúan en las subcuencas más bajas.

En resumen:

- Los elevados índices de riesgo poblacional frente a las inundaciones se detecta en las subcuencas de la parte media y baja, encontrándose los mayores en **B1** y **B4**.

Recurso hídrico superficial

- La **amenaza por establecimientos industriales categorizados según el NCA**, mostró que las subcuencas **B2** y **B3** son las más peligrosas (Mapa 83). Éstas justamente coinciden con la cercanía a la red ferroviaria y con el centro de Moreno.
- El criterio adoptado en este trabajo para establecer la amenaza por contaminación fisicoquímica, es comparar los valores obtenidos con los de los niveles guía argentinos. Dado que en todos los sitios de muestreo, los resultados fueron o bien menores a los sugeridos para el uso recreativo con contacto directo o, como ocurrió en la mayoría de los casos no se establece límite para este uso, no fue posible elaborar un mapa de amenaza para esta variable y por ende tampoco el de riesgo poblacional.

Es llamativo que ninguno de los organismos adoptados en este trabajo no haya establecido valores guía para muchos parámetros para el uso recreativo; esto significa que no se ha considerado ni la gravedad ni la frecuencia relacionada con los efectos de la salud. Es importante destacar que muchos de los peligros asociados con el uso recreativo del ambiente acuático son de naturaleza instantánea, los accidentes y exposiciones a infecciones microbiológicas pueden ocurrir en periodos muy cortos de tiempo.

Por lo expuesto, este tema debería formar parte de la agenda de los organismos que establecen pautas para diferentes usos del agua, considerando el grado de exposición, distinguiendo entre contactos agudos, esporádicos, puntuales y/o prolongados.

No obstante ello, al analizar la calidad del recurso hídrico superficial respecto al uso “protección de vida acuática”, se encontraron evidencias importantes de contaminación, especialmente por metales pesados.

Riesgo hídrico poblacional - Cuenca del Arroyo Las Catonas

Siendo entonces la **hipótesis general** de este trabajo de investigación que *los procesos ecológicos relacionados con el recurso hídrico afectan de manera diferente a las poblaciones establecidas en cuencas periurbanas, debido a una inadecuada gestión del recurso hídrico*; y teniendo en cuenta que el **objetivo general** fue determinar subcuencas con diferentes índices de riesgo poblacional con relación al recurso hídrico, mediante el análisis de las amenazas y vulnerabilidades sociales en los procesos inundaciones y contaminación del recurso hídrico, se enumera:

En resumen:

- comparando la situación entre ambos acuíferos, el Pampeano presenta mayores índices de riesgo hídrico poblacional, ocupando además un área más extensa que en el Puelche;
- en el Pampeano las subcuencas detectadas con mayor riesgo hídrico poblacional son las **B1** y **B4**;
- en el Puelche la subcuenca detectada con mayor riesgo hídrico poblacional es la **B4**;
- las subcuencas detectadas con mayor riesgo hídrico poblacional frente a las inundaciones son las **B1** y **B4**.

Los resultados obtenidos muestran claramente que la población establecida en las subcuencas B1 y B4, es la que mayor riesgo hídrico presenta, demandando de manera urgente la realización de obras tanto de infraestructura de agua potable y saneamiento como hidráulicas.

Pero, dado que la subcuenca B4 es la de mayor densidad poblacional, es la prioritaria en la implementación de planes de inversión en la mitigación de las problemáticas estudiadas.

VI.2. Acerca del desarrollo metodológico e innovaciones

Respecto a las **innovaciones** de este trabajo de investigación cabe destacar en primer lugar el **desarrollo de una metodología que permite analizar el riesgo hídrico poblacional a nivel de subcuencas**, unidad territorial imprescindible para la planificación y gestión del recurso agua. Dicha metodología se centra en el estudio de los componentes de vulnerabilidad social y amenaza involucrados en los procesos de inundaciones y contaminación del recurso hídrico subterráneo y superficial.

En el marco de este estudio la autora ha generado una serie de **conceptos teóricos** que nutren a las disciplinas involucradas:

- **definición de riesgo hídrico poblacional humano o riesgo poblacional humano en relación al recurso hídrico** como *al evento (inundación por desborde de ríos, precipitación intensa y anegamiento, deterioro en la calidad y cantidad del agua superficial y subterránea, etc.), que tenga como elemento eje al recurso agua y que impacte directa o indirectamente sobre algún/os o todos los aspectos que conforman el bienestar íntegro de la población (salud, bienes materiales, economía, actividades productivas y culturales). Por lo tanto, para poder cuantificar ese riesgo es imprescindible estudiar los procesos fisicoquímicos que ponen en peligro a la población (amenazas), como así también los socioeconómicos (vulnerabilidad social).*
- **definición de vulnerabilidad de acuíferos** como *un concepto cualitativo, de tendencia cuantitativa de acuerdo a la nueva corriente científica, que representa el estado de debilidad del acuífero frente a sustancias contaminantes (de origen natural o antrópicas), que depende tanto de las propiedades intrínsecas de ambos, como así también de su interacción;*
- **concepto y estudio de antropobarreras** como *aquellas barreras antrópicas que frenan o impiden la escorrentía superficial; considerando para su análisis no sólo la elevación respecto al terreno, sino la orientación con referencia a la escorrentía.*

Asimismo la autora también ha generado diversas **ecuaciones** que alimentan la metodología desarrollada:

- **"Vulnerabilidad social por fuente de captación del recurso agua"** y **"Vulnerabilidad social por vía de disposición de excretas"**, (Ecuación 4 y Ecuación 5, respectivamente); las dos variables (captación y disposición) brindan una caracterización cualitativa. Para su construcción la autora genera y asigna factores de ponderación 1, 3 o 5, debido a que considera que la forma mecánica mediante la cual

se está captando agua y/o disponiendo las excretas no aportan a que se agrave la vulnerabilidad social (1), o sí lo hacen de una manera media (3) o alta (5):

Ecuación 4

VS por fuente de captación del recurso =
1 x índice red agua +
3 x índice bomba motor en perforación profunda +
5 x índice bomba manual o motor en perforación somera

Ecuación 5

VS por vía de disposición de excretas =
1 x índice red cloacal + 3 x índice pozo ciego con cámara séptica +
5 x índice pozo ciego u hoyo sin cámara séptica

- **"Vulnerabilidad social por subcuena dada por contaminación del recurso hídrico subterráneo"** que integra las siguientes variables (Ecuación 6):

VS por contaminación del recurso hídrico subterráneo =
VS por fuente captación del recurso + VS por vía de disposición excretas + VS por densidad poblacional

Ecuación 6

- **"Amenaza por subcuena dada por contaminación por nitratos"**. Indica de qué manera los nitratos representan una amenaza para la gente; primero se calcula el valor medio ponderado de la concentración de nitratos por subcuena (Ecuación 11):

Ecuación 11

CNM ponderada=

$[CNM \text{ medio} \times S1] + [CNM \text{ medio} \times S2] + [CNM \text{ medio} \times S3] + \dots [CNM \text{ medio} \times Sn] / [S1 + S2 + S3]$

donde $S1 + S2 + S3 + \dots + Sn$ = superficie total de cada subcuena; CNM (concentración de nitratos media).

Luego, a cada subcuena, en base a ese valor medio ponderado obtenido, se le asignó un factor de ponderación (denominado "factor nitrato") dependiendo de cuánto se aparta de la normativa de potabilidad y de los efectos que producen las diferentes

concentraciones en la salud de lactantes y ancianos. De esta manera, si el valor hallado en la subcuenca se aparta:

- entre 0,1 - 1 veces: se le atribuyó un factor de 1;
- entre 1,01 - 2 veces: se le atribuyó un factor de 2;
- entre 2,01 - 3 veces: se le atribuyó un factor de 3;
- entre 3,01 - 5 veces: se le atribuyó un factor de 4;
- entre 5,01 - 10,11 veces: se le atribuyó un factor de 5.

Lo anterior surge del análisis de la normativa, de experiencias a campo y entrevistas realizadas a los médicos de centros de asistencia primaria⁴⁸, tanto pertenecientes a esta cuenca, como otras localizadas fuera del área de estudio:

- valor < 45 mg/l (coincide con el límite de potabilidad): se le atribuye un factor de 1;
- valor entre 46 - 90 mg/l (comienzan dificultades leves respiratorias en lactantes): se le atribuye un factor de 2;
- valor entre 91 - 130 mg/l (se acentúan las dificultades respiratorias en lactantes): se le atribuye un factor de 3;
- valor entre 131 - 200 mg/l (afectación severa en lactantes: cianosis severa y dificultades respiratorias en ancianos): se le atribuye un factor de 4;
- valor > 200 mg/l (a partir de este valor se registran fallecimientos de lactantes y afectaciones severas en ancianos): se le atribuye un factor de 5.

Así entonces se calcula la *amenaza por subcuenca dada por la concentración de nitratos*, como el producto entre el valor medio ponderado de la concentración de nitratos y el factor asignado (Ecuación 12).

Ecuación 12

Amenaza por CN= CNM ponderada (mg/l) x factor nitrato

- **"Amenaza por subcuenca dada por contaminación orgánica en acuíferos libres"**, que vincula los componentes de vulnerabilidad intrínseca del acuífero libre con los dos parámetros más representativos de la contaminación orgánica de origen urbano: nitratos y *Escherichia coli*. De esta manera se tiene (Ecuación 13):

Ecuación 13

Amenaza contaminación orgánica en acuíferos libres = Grado de vulnerabilidad intrínseca del acuífero libre ponderado por la superficie de la subcuenca + índice contaminación dado por nitratos en el libre + índice de contaminación dado por <i>E. coli</i> en el libre

⁴⁸ Durante el desarrollo de este trabajo y de los diagnósticos ambientales que se realizan en los municipios de la zona de influencia de la UNGS, en el marco de la asignatura "Laboratorio Intervenciones" que imparte el ICO.

El primer componente es denominado por la autora como **"EKv ponderado"** dado que se obtiene a partir del método de vulnerabilidad en acuíferos libres. Para su cálculo se desarrolló la siguiente fórmula (Ecuación 14):

Ecuación 14

$$\text{EKv ponderado} = \frac{[\text{Índice Vulnerabilidad} \times S1] + [\text{Índice Vulnerabilidad} \times S2] + [\text{Índice Vulnerabilidad} \times S3] + \dots + [\text{Índice Vulnerabilidad} \times Sn]}{[S1 + S2 + S3 + \dots + Sn]}$$

donde S1 + S2 + S3 + ... + Sn = superficie total de la subcuenca.

Siguiendo la lógica de este trabajo, donde se desarrolla un análisis cualitativo de amenaza y vulnerabilidad, adoptando valores que varían entre 1 y 5, el "Índice Vulnerabilidad" de la Ecuación 14, en función del grado de vulnerabilidad alcanzado por el método EKv empleado (bajo, medio o alto), adopta los siguientes tres valores:

- 1: si la vulnerabilidad intrínseca obtenida por el método EKv es baja (Grado I);
- 3: si la vulnerabilidad intrínseca obtenida por el método EKv es media (Grado II);
- 5: si la vulnerabilidad intrínseca obtenida por el método EKv es alta (Grado III).

- **"Vulnerabilidad social por subcuenca dada por inundaciones"** que integra las siguientes variables (Ecuación 15):

Ecuación 15

$$\text{VS inundaciones} = \text{VS densidad poblacional} + \text{VS NBI}$$

donde VS: Vulnerabilidad Social.

- **"Amenaza por subcuenca dada por inundaciones"**, integra las siguientes variables (Ecuación 25):

Ecuación 25

$$\text{Amenaza inundaciones} = \text{Índice K suelo} + \text{índice topografía natural} + \text{índice antropobarrera} + \text{índice impermeabilización edáfica}$$

- **"Amenaza por subcuenca dada por industrias según su Nivel de Complejidad Ambiental (NCA)"** integra la cantidad y tipo de industria discriminado según su NCA (Ecuación 27):

$$\text{Amenaza industrias (NCA)} = \text{Subtotal 1} + \text{Subtotal 2} + \text{Subtotal 3}$$

Ecuación 27

Donde:

Subtotal 1: nº establecimientos NCA1 x 1;

Subtotal 2: nº establecimientos NCA2 x 2 y

Subtotal 3: nº establecimientos NCA3 x 3.

Los factores 1, 2 y 3 son los índices de ponderación denominados “factor NCA”.

VII. Discusión

Respecto al **ordenamiento del territorio**, la cuenca hidrográfica, sea en forma independiente o interconectada con otras cuencas, es reconocida como la unidad del territorio más adecuada para la gestión de los recursos hídricos. La validez de usar dicho espacio como el territorio base para la gestión integrada del agua ha sido enfatizada y recomendada en los encuentros internacionales sobre los recursos hídricos, destacando la Conferencia Internacional sobre el Agua Dulce en Bonn Alemania, desarrollada en diciembre de 2001, donde se ratifica a las “cuenas hidrográficas como el marco de referencia indicado para la gestión de los recursos hídricos”.

Por lo tanto, si bien es universalmente reconocido el principio fundamental de adoptar a la cuenca hidrográfica como unidad físico-territorial básica para el planeamiento y gestión de los recursos hídricos, la práctica demuestra que existen dificultades operacionales para adoptar este principio, dado que no hay compatibilidades entre los criterios de división territorial habitualmente utilizados, basados en criterios político-administrativos y no en criterios físicos, como los que las divisorias de agua establecen.

En el marco del desarrollo de este tipo de trabajo, surge una pregunta clave que es cómo hacer que las herramientas técnicas sean útiles a los decisores.

Los problemas que enfrentan las investigaciones en el estudio de manejos de cuencas son diversos y variados, pero probablemente el más difícil a resolver es la variación espacial y temporal de la información, además de su escasez y poca fiabilidad para efectuar los análisis correspondientes. Otro problema crucial se refiere a la dificultad para cuantificar la información.

La secuencia metodología presentada en este trabajo permite jerarquizar subcuencas con riesgo hídrico poblacional, para luego priorizar dónde y qué medidas de acción ejecutar. Las zonificaciones implican el uso de herramientas de SIG y Teledetección, actividades de campo y de laboratorio, como así también análisis de información secundaria. Todo ello permite, mediante mapas temáticos que dan cuenta de las amenazas y vulnerabilidades sociales, el desarrollo de la cuantificación de subcuencas según el riesgo hídrico al que está expuesta la población. De este modo puede obtenerse un conjunto de zonas homogéneas de la cuenca, caracterizadas por presentar el mismo comportamiento frente a las variables estudiadas. Lo importante de esta cuantificación es que permite generar información sintética.

Esta “ordenación territorial” así concebida constituye el marco para planificar el uso sostenible de la cuenca y la ejecución de programas y proyectos específicos dirigidos a aprovechar adecuadamente, conservar, preservar, prevenir el deterioro y restaurar la cuenca hidrográfica.

Para una gestión sustentable del agua es necesario que los conocimientos técnicos sean considerados en la toma de decisiones por parte de los funcionarios políticos y administrativos gubernamentales, lo cual en realidad no ocurre con frecuencia. Porque, lamentablemente muchas veces a pesar que existen avances académicos acerca de la delimitación de áreas de riesgo y prioritarias para su inmediata gestión, cuando además de esto entran en juego el poder y el dinero, las propuestas se diluyen.

Así, retomando la pregunta formulada al comienzo de esta sección, acerca de cómo hacer que estas herramientas sean útiles a los decisores, la respuesta es mediante la capacitación del personal involucrado, sea en el ámbito estatal o privado, y también mediante la sistematización y divulgación de la información técnica suministrada por la investigación.

Por último recordar que no existen conflictos ambientales sino conflictos humanos que afectan el ambiente, por lo que es necesario obtener medios de conciliación para superarlos.

Respecto a la **gestión integrada de cuenca hidrográficas** existen básicamente dos enfoques orientados a lograrla: el *reglamentado* que se caracteriza por apoyarse en la aplicación de normas rígidas e implica la existencia de un aparato de control y de represión eficaz, y el *enfoque negociado*, que implica la definición de reglas de juego por parte del Estado, la participación de todos los usuarios, financiamientos específicos y organismos de cuenca autónomos. Este último enfoque se desarrolló con éxito en Francia (1964), y a partir de allí actualmente se está propagando con fuerza hacia los países de Europa Occidental y Oriental, así como hacia los de América Latina, siendo ejemplos notables los casos de México y Brasil. La característica esencial del enfoque negociado es que se basa sobre la participación efectiva de todas las partes involucradas en la cuenca, es decir al gobierno (de nivel nacional, regional o local), a los usuarios, a las comunidades locales y a la sociedad civil. Además, la representación de todos los actores se ve reflejada en la composición de los organismos de cuenca, en donde las funciones y responsabilidades están claramente establecidas.

Para el éxito de los esfuerzos por crear organismos de cuenca, se requiere de un conjunto de acciones concretas de acompañamiento durante el proceso de institucionalización de la gestión del agua y de los recursos naturales. La participación de los actores es una premisa esencial, pero lamentablemente no es fácil su implementación. La búsqueda de articulación entre actores es imperativo, en particular en el gobierno y los usuarios. En definitiva, se hace necesario que los gobiernos y los actores pertenecientes en la cuenca arriben a acuerdos consensuales.

Otro tema que debe demandar tiempo de discusión es la **urbanización**. Ésta es creciente en el mundo y particularmente en Sudamérica. Esta tendencia, que también se registra en Argentina, genera continuas presiones para la ocupación del espacio urbano. La rápida expansión de los sectores más carenciados torna difícil el control de todos los aspectos

asociados al crecimiento. Dentro de este contexto, por ejemplo la atención a los problemas del drenaje urbano, generalmente se realiza sólo inmediatamente después de su ocurrencia, resultando en obras cuya vida útil es efímera. El problema de las inundaciones urbanas muchas veces es olvidado con el pasar del tiempo, máxime durante períodos de sequía.

A medida que aumenta el tamaño de las ciudades se agravan las consecuencias de la falta de planificación y reglamentación. Después que el espacio es totalmente ocupado, las soluciones disponibles resultan extremadamente costosas y más complejas técnicamente. El poder público pasa a invertir una parte significativa de su presupuesto para proteger algunos sectores de la ciudad que sufren debido a la falta de previsión en la ocupación del suelo. Estos fondos provienen, en última instancia, de la población establecida en el municipio, del estado provincial y/o nacional (en función de la importancia de la ciudad y de la gravedad de la situación), por lo que surge el interrogante sobre quién realmente debería costear los gastos.

La respuesta técnica al problema es disciplinar la ocupación urbana a través de una densificación compatible con los riesgos, ya sean estos de inundación o contaminación de agua de consumo, por ejemplo. El objetivo es minimizar, y de ser posible impedir, el aumento sistemático de estas problemáticas en áreas urbanas. Para ello es necesario cuantificar el impacto de las diferentes condiciones de urbanización y establecer una reglamentación del uso del suelo.

Con referencia al **estado y disponibilidad del recurso hídrico**, durante el año 2006 se llevará a cabo en la ciudad de México el IV Foro Mundial sobre el Agua, donde se buscarán e impulsarán estrategias y acciones decididas que permitan preservar y garantizar este recurso natural. El objetivo del encuentro es el avance en el acuerdo de compromisos concretos por parte de las autoridades y la búsqueda de mecanismos para que estos puedan traducirse en acciones a nivel local. Dentro de las “metas del Milenio del Foro” se encuentra el reducir en un 50% el número de personas que carecen de servicios de agua potable y saneamiento para el 2015.

Los principales problemas se concentran actualmente en África, donde en muchos países la gente sólo cuenta con menos de 10 litros de agua al día para todas sus necesidades, según datos del Consejo Mundial del Agua. También se registran graves problemas en países asiáticos como China, Bangladesh, Nepal, Laos o Vietnam, pero no precisamente por la escasez, sino por una administración poco eficiente y la contaminación del recurso, cuyo suministro es reducido y de baja calidad. En América Latina, a pesar de que posee grandes cantidades de agua, los problemas son también la contaminación y el acceso dispar entre regiones. Latinoamérica sufre una amplia gama de problemas, que incluye baja calidad de agua y distribución, saneamiento inadecuado, sobreexplotación y contaminación de lagos, ríos y acuíferos. El Golfo de México, el Atlántico sur de Brasil y la Cuenca del Paraná contienen el 40% de la población del área en apenas un 25% del territorio y con sólo el 10% del total de los recursos de agua dulce.

Lamentablemente los problemas relacionados con el recurso hídrico existen y son

muchos, pero la celebración de dicho Foro permitirá seguir tomando conciencia sobre la necesidad de solucionarlos dado que sin el agua no es posible la vida.

Al hablar de **calidad del agua**, es importante recalcar que es más económico y seguro tratar las aguas residuales, cloacales o industriales antes de su descarga, que implementar mecanismos de limpieza una vez que la contaminación ha sucedido, evitando así externalidades con costos sociales, económicos y ecológicos altos, y fundamentalmente inequitativos.

Respecto al **servicio de dotación de agua potable**, uno de los aspectos interesantes a analizar es la vinculación entre la densidad poblacional con la noción de consolidación urbana en cuanto al nivel de infraestructura alcanzado. Esta noción parte del supuesto que la totalidad de la ciudad debe, paulatinamente, completar sus redes, en la medida que conforman un insumo indispensable para el desarrollo de la vida cotidiana. Las infraestructuras consolidadas para este análisis son: energía eléctrica, gas, agua y cloaca⁴⁹.

La construcción de las primeras infraestructuras, pavimento en general, coincide con la etapa en que los propietarios de lotes logran terminar los primeros ambientes de su vivienda. El gas natural es la segunda de estas infraestructuras; en general se trata de una obra deseada porque significa un ahorro importante en relación con el costo de las garrafas. En cambio, la red de agua se construye sobre barrios con un nivel de consolidación importante económicamente, y aunque significa un ahorro en el gasto de energía eléctrica para quien obtenía el agua a través de bomba (perforación profunda), la incorporación a la red es percibida como un nuevo impuesto más, y a su vez como una caída de los estándares de consumo, ya que muchas veces la red no garantiza el caudal que se extraía del pozo o no presenta una mejoría en la calidad.

Si se analiza el financiamiento de estas obras en relación con la cantidad de población, se verifica que existe un vínculo entre el nivel de consolidación, densidad y nivel de avance de la construcción de la vivienda en relación con el medio urbano.

Las prestadoras del servicio de agua potable consideran que es recién a partir de los 100 hab/ha que se compromete la calidad del agua extraída por influencia de los pozos ciegos, por lo que entonces se puede afirmar que existe una ecuación, posible de optimizar en su desarrollo temporal, que vincula urbanización, densidad de población y financiamiento de infraestructuras (Garay, 1995). Encontrar la medida de cada uno de los términos de esta ecuación permitiría habilitar suelo urbano sobre la base de programas de inversión a desarrollar en el tiempo y que permitan relacionar la construcción de la infraestructura en el momento adecuado, teniendo en cuenta la capacidad de contribución de la población.

Hasta no hace mucho la mayor parte de las inversiones en infraestructura a nivel local se hacían de manera centralizada desde algún organismo del Estado nacional o provincial y los municipios eran meros receptores de las obras. Ni el gobierno local ni la comunidad se

⁴⁹ Otras redes como telefonía, televisión por cable, así como pavimentos o desagües pluviales no son sido tenidas en cuenta para la elaboración de este parámetro.

involucraban en el diseño, la ejecución o el aporte de fondos. Con la corriente descentralizadora y de privatización de los servicios la participación del sector privado cobró importancia. En Argentina el modelo elegido para el servicio de agua y cloacas fue el de la **concesión**, donde se dio una transferencia del servicio a manos privadas y quedó desdibujado el rol del regulador, de los sindicatos, del gobierno local y de la propia comunidad. Se presenta entonces un gran desafío: introducir dentro de la lógica de concesión privada un modelo alternativo que involucre relaciones transparentes e igualitarias entre los actores y responda más a la necesidad y tiempos de las comunidades, especialmente las más pobres. Un modelo que se guía por la demanda y no solo por la oferta (Hardoy *et al*, 2005).

Los estudios meteorológicos en la Argentina adquirieron un renovado vigor a raíz de la Ley N° 12.152 en el año 1935, por la que se creó la **Dirección de Meteorología, Geofísica e Hidrología** (dependiente y continuadora del Servicio Meteorológico Nacional) que al mismo tiempo que centraliza toda la actividad meteorológica nacional, coordina su labor hidrológica y geofísica con la que realizan otras instituciones del país. Por lo tanto, si de planificación y prevención de desastres se refiere, dado que esta Dirección procede al estudio sistemático de los regímenes pluviales de todo el país, asimismo que efectúa las investigaciones hidrológicas y estudios nivológicos de las distintas cuencas de la República, es de esperar que las informaciones que tan costosamente se obtienen, tengan difusión oportuna y regular, para extraer de ellas todo el beneficio posible, tanto para el estudio de las inundaciones, como para el de la recarga de acuíferos (y así determinar sitios y caudales de extracción).

VIII. Bibliografía

- Aller L. T., Lerh J. H., Petty R. J. y Hackett G. 1987. DRASTIC: A Standardized System for Evaluating Groundwater Pollution Potential Using Hydrogeologic Settings. U.S. Environmental Protection Agency. 600/2-87/035. Ada Oklahoma. 622 pp.
- Ameghino F. 1889. Contribución al conocimiento de los mamíferos fósiles de la República Argentina. Academia Nacional de Ciencias, Acta 6: 1–1027. Córdoba.
- Artaza E. 1940. Saneamiento urbano en la República Argentina. Provisión de agua y desagües urbanos. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata, Cuaderno 5: 1–243. La Plata.
- Auge M. P. 1982. Recarga y descarga del Acuífero Puelche en la Cuenca del Río Matanza. Provincia de Buenos Aires, República Argentina. En Actas del 4to. Congreso Mundial de Recursos Hídricos. Buenos Aires.
- Auge M. P. y Hernández M. A. 1984. Características geohidrológicas de un acuífero semiconfinado (Puelche) en la llanura bonaerense. Su implicancia en el ciclo hidrológico de llanuras dilatadas. En Actas del Coloquio Internacional sobre Hidrología de Grandes Llanuras UNESCO, Volumen 2: 1021–1042. Olavarría.
- Auge M. P. 1986. Hydrodynamic behaviour of the Puelche Aquifer in Matanza River Basin. Groundwater, Vol. 25: 636-643. Dublin, Ohio.
- Auge M. P. 1997a. Hidrogeología Regional Argentina. Provincias Hidrogeológicas. En Actas del Primer Congreso Nacional de Hidrogeología: 1-20. Bahía Blanca.
- Auge M. P. 1997b. Investigación Hidrogeológica de La Plata y Alrededores. Tesis Doctoral Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, 2T: 1–171 (inédito). Buenos Aires.
- Auge M. P., Hernández M. y Hernández L. 2002. Actualización del conocimiento del Acuífero semiconfinado Puelche en la Provincia de Buenos Aires, Argentina. Actas del XXXII IAH & VI ALHSUD Congress 629-633. Mar del Plata. Argentina.
- Auge M. P. 2003. Vulnerabilidad de acuíferos. Conceptos y métodos. Hidrored. Rediris. E-book: <http://tierra.rediris.es/hidrored/ebvulnerabilidad.html>.
- Auge M. P. 2004. Hidrogeología Ambiental. SEGEMAR. Ser. Contrib. Técn. Ordenam. Territ. # 5: 1-131. ISSN 0328-9052. Buenos Aires.

- Auge M. P., Hirata R. y López Vera F. 2004. Vulnerabilidad a la contaminación por nitratos del Acuífero Puelche en La Plata - Argentina. Universidad de Buenos Aires, Universidad de Sao Pablo, Universidad Autónoma de Madrid. E-book: <http://www.gi.fcen.uba.ar/Hidrogeologia/auge/Vulnerabilidad-Nitratos.pdf>. 1-187.
- Auge M. P. 2005. Perforaciones para agua subterránea. Secretaría de Medio Ambiente y Calidad de Vida. Municipalidad de Pilar.
- Barsky A. y Fernández L. 2004. ¿Qué diferencias hay entre Gran Buenos Aires, Conurbano, Area y Región Metropolitana?. E-paper: www.georedweb.com.ar.
- Benitez A. 1972. Captación de Aguas subterráneas. Editorial Dossat.
- Bozzano H. 2000. Territorios reales, territorios pensados, territorios posibles. Buenos Aires: Espacio Editorial. 263 p.
- Bracaccini O. 1972. Cuenca del Salado. Geología Regional Argentina, Acad. Nac. de Ciencia. Córdoba vol. II. Pág. 879-918.
- Burgos J. J. y Vidal A. L. 1951. Los climas de la República Argentina según la nueva clasificación de Thornthwaite. Rev. Meteoros, I (1): 3 – 32.
- CEQG. 2002. Canadian Environmental Quality Guidelines.
- Cappannini D. A. y Mauriño V. R. 1996. Suelos de la zona litoral estuárica comprendida entre las ciudades de Buenos Aires al Norte y La Plata al Sur (Provincia de Buenos Aires). INTA: 1 - 45. Buenos Aires.
- Civita M., Chiappone A., Falco M. y Jarre P. 1990. Preparazione della carta di vulnerabilità per la rilocalizzazione di un impianto pozzi dell' Aquedotto di Torino. Proc. 1st. Conv. Naz. "Protezione e Gestione delle Acque Sotterranee: Metodologie, Tecnologia e Obiettivi. Vol. 2: 461-462. Marano sul Parnaro.
- Custodio E. y Llamas M. R. 1976. Hidrología subterránea. 2T: 1-2.359. Ed. Omega. Barcelona.
- Dalla Salda L. 1981. En Actas del XV Congreso Geológico Argentino T3: pág. 483. Salta.
- Di Pace M., Crojethovich A. y Herrero A. C. 2005. Capítulo 2: Ecología y Ambiente, en: Ecología de la ciudad. Editorial Prometeo. Buenos Aires.
- Doerfliger N. y Zwahlen F. 1997. EPIK: a new method for outlining of protection areas in karstic environment. In Gunay & Jonshon (Ed). Int. Symp. on Karst Waters and Environ. Impacts. Antalya, Turkey, 1997. Balkema: 117-123. Rotterdam.

- EASNE. 1972. Contribución al estudio geohidrológico del noroeste de la Provincia de Buenos Aires. Consejo Federal de Inversiones, Serie Técn. 24: 1– 43. La Plata.
- ESRI. 1992. Understanding GIS: the Arc/Info Method. Environmental Systems Research Institute, Inc., Redlands, CA. 416 pp.
- Etchevehere P. 1975. Suelos. Relatorio Geología de la Provincia de Buenos Aires. 6º Congreso Geológico Argentino: 219 – 230. Bahía Blanca.
- Fenge T. 1976. Geomorphic aspects of sanitary landfill site selection. Western Geogr. Ser. 12: 241-286. Victoria BC.
- Fernández Cirelli A. 1998. Problemática Regional: Enfoques y perspectivas en el aprovechamiento de recursos hídricos. EUDEBA. Buenos Aires.
- Fernández L. y Reboratti. 2003. Calidad de agua de consumo. En: Diagnóstico ambiental del Municipio de Ituzaingó. UNGS.
- Fernández L. y Fagúndez P. 2004. Calidad de agua de consumo. En: Diagnóstico ambiental del Municipio de Malvinas Argentinas. UNGS.
- Fernández L. y Martucci L. 2005. Calidad de agua de consumo. En: Diagnóstico ambiental del Municipio de José C. Paz. UNGS.
- Fidalgo F., De Francesco O. y Pascual R. 1975. Geología superficial de la Llanura Bonaerense. En Actas del VI Congr. Geol. Arg. Relatorio: 103-138. Buenos Aires.
- Foster S. 1987. Fundamental concepts in aquifer vulnerability, pollution, risk and protection strategy. TNO Comm. on Hydrog. Research. Proceed. and Information # 38: 69-86. The Hague.
- Frenguelli J. 1950. Rasgos generales de la morfología y la geología de la Provincia de Buenos Aires. LEMIT. Ser. II, N° 33: 72. La Plata.
- Frenguelli J. 1955. Loess y limos pampeanos. UNLP Ser. Técn. y Did. N° 7: 88. La Plata.
- Fritzsche F. y Reboratti L. 2002. Base informativa y análisis preliminar para la realización de un diagnóstico ambiental del Partido de Moreno. Colección Investigación - Serie Informes de Investigación N° 13. Instituto del Conurbano – Instituto de Ciencias. Universidad Nacional de General Sarmiento.

- Fundación Banco de la Provincia de Bs. As. 2003. Informe sobre desarrollo humano en la Pcia. de Buenos Aires 2003. Ed. Fundación Banco de la Provincia de Buenos Aires. 297 p.
- Garay A. M. 1995. Estructura Urbana. En: El Conurbano Bonaerense, Relevamiento y Análisis. CONAMBA. Ministerio del Interior.
- Gleick P., Loh P., Gómez S. y Morrison J. 1995. California water 2020: a sustainable vision. Pacific Institute Report. Pacific Institute for Studies in Development, Environment and Security. Oakland, California. USA.
- González S. 1999. La gestión del riesgo por inundaciones en la ciudad de Buenos Aires. Situación actual y alternativas posibles. Ponencia presentada a la Tercera jornada legislativa para el Area Metropolitana de Buenos Aires: AMBA, Integración para una mejor calidad de vida.
- González Bonorino F. 1965. Mineralogía de las fracciones arcilla y limo del Pampeano en el área de la ciudad de Buenos Aires y su significado estratigráfico y sedimentológico. Asociación Geológica Argentina Revista 20: 57-150. Buenos Aires.
- Groeber P. 1945. Las aguas surgentes y semisurgentes del norte de la Prov. Bs. As. Rev. La Ingeniería. Año 49, 6: 371-387. Buenos Aires.
- Hardoy A., Hardoy J., Pandiella G. y Urquiza G. 2005. Capítulo: Gestión Sustentable de Agua y saneamiento a nivel local, en libro: La Lucha por Acceder al Agua. IIED-AL. Bs. As.
- Hardoy J. E. y Satterthwaite D. 1991. Medio ambiente urbano y condiciones de vida en América Latina. Su impacto sobre la salud. En: Medio Ambiente y Urbanización N° 36. IIED-AL. Buenos Aires.
- Herman A. 2003. Investigación Hidrogeología de Cuenca del Arroyo Las Catonas, Provincia de Buenos Aires. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires. Inédito. Buenos Aires.
- Hernández M. A. 1975. Efectos de la sobreexplotación de agua subterránea en el Gran Buenos Aires y alrededores, República Argentina. 2do. Congreso Latinoamericano de Geología Económica. Actas T1: 435-450. Buenos Aires.
- Hernández M. A., Fili M. F., Auge M. P. y Ceci J. H. 1979. Geohidrología de los acuíferos profundos de la Provincia de Buenos Aires. 6° Congreso Geológico Argentino. 2T: 479 – 500. Buenos Aires.

- Herrero A. C. y Ramírez S. 2001. Calidad de agua de consumo. En: Diagnóstico ambiental del Municipio de San Miguel. UNGS.
- Herrero A. C., Ramírez S. y Fernández L. 2002. Calidad de agua de consumo. En: Diagnóstico ambiental del Municipio de Pilar. UNGS.
- Herzer H. M. 1990. Los desastres no son tan naturales como parecen. En: Medio ambiente y urbanización N° 30, Marzo, Año 8. Ed. IIED América Latina.
- INDEC. 1997. Censo Nacional Económico. Resultados definitivos/versión revisada, industria comercio y servicios. Total del país y jurisdicciones. Buenos Aires.
- INDEC. 1991. Censo Nacional de Población, Hogares y Vivienda. Buenos Aires.
- INDEC. 2001. Censo Nacional de Población, Hogares y Vivienda. Buenos Aires.
- INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria). 1990. Atlas de Suelos de la República Argentina. TY: 83-85. Buenos Aires.
- Jenks G. F. 1977. Optimal Data Classification for Choropleth maps. Artículo N° 2, Departamento de Geografía, Universidad de Kansas.
- Jiménez J. C. 2004. Las inundaciones en centros urbanos densamente poblados generadas por eventos naturales extraordinarios. En Actas de las Jornadas sobre inundaciones en la RMBA, Centro Argentino de Ingenieros, Buenos Aires. 29 al 31 de marzo.
- Keller E. 1996. Environmental Geology. Prentice Hall, NJ.
- Kralich S. 1995. Una opción de delimitación metropolitana: los bordes de la red de transporte "urbano". El caso de Buenos Aires. En: Seminario Internacional "La gestión del territorio: Problemas ambientales y urbanos". Centro de Estudios e Investigaciones (CEI) / Universidad Nacional de Quilmes - IDEHAB / Universidad Nacional de La Plata. Quilmes, 15 p.
- Lewis W. J., Foster S.S.D. y Drasar B.S. 1988. Análisis de contaminación de las aguas subterráneas por sistemas de saneamiento básico. CEPIS/OPS/OMS.
- Marcolongo B. y Pretto L. 1987. Vulnerabilità degli acquiferi nella pianura a nord di Vicenza. Publ. GNDICI-CNR # 28: 1-13.
- Margalef R. 1983. *Limnología*. Ediciones Omega. Barcelona.

- Martín I. 2004. Riesgo sanitario por presencia de *Pseudomonas aeruginosa* en el agua para consumo, Cuenca del arroyo Las Catonas, Región Metropolitana de Buenos Aires. Tesis de licenciatura. Inédito. Universidad Nacional de General Sarmiento.
- Martínez A. y Navarro J. 1996. Hidrología forestal. El ciclo hidrológico. Universidad de Valladolid. 283 pp.
- Maskery A. 1989. El manejo popular de los desastres naturales. IT. Lima.
- Momo F., Cuevas W., Giorgi A., Banchemo M., Rivelli S., Taretto C., Gomez Vazquez A. y Feijoo C. Mapping the water quality of the Puelchense subacuifer in Lujan (Argentina). In: Water pollution V. Modelling, mesuaring and prediction. WIT Press. Pp. 493-501.
- Morello J. 2000. Manejo de Agrosistemas Periurbanos, M 10 Maestría GADU. FAUD-UNMDP.
- Moscatelli G., Musto J., Sobral R. y Puentes Y. 1990. Buenos Aires Escala 1:500.000. Atlas de Suelos de la República Argentina. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca. INTA. Tomo Y: 83 – 202.
- Natenzon C. 1995. Catástrofes naturales, riesgo e incertidumbre. Buenos Aires, FLACSO, Serie de Documentos e Informes de Investigación N° 197.
- Odum E. P. 1971. Fundamentals of ecology. W. B. Saunders, Philadelphia.
- Pírez P. 1994. Política y gestión de la ciudad. En: Buenos Aires Metropolitana. CEAL. Buenos Aires.
- Piper A. M. 1944. A graphic procedure in the geochemical interpretation of water analyses. Trans. Amer. Geophys Union. V 25: 914 – 923.
- PNUD.1999. Informe sobre Desarrollo Humano. Ediciones Mundi-Prensa.
- Prudkin N. y De Pietri D. E. 1999. Las inundaciones en el AMBA: Análisis ecológico, The World Bank.
- Rolleri E. O. 1975. Provincias geológicas bonaerenses. Relatorio Geológico de la Provincia de Buenos Aires. En Actas del 6to. Congreso Geológico Argentino: 29–53. Bahía Blanca.
- Rusconi R. 1937. Listas de los organismos fósiles del Puelchense de Buenos Aires. Anal. Soc. Arg. de Est. Geogr., T5: 79-89. Buenos Aires.

- OSN (Obras Sanitarias de la Nación). 1960. Perforaciones de la Provincia de Buenos Aires.
- Sala J. M. y Ceci J. H. 1968. Características físicas de la red de drenaje del Noroeste de la Provincia de Buenos Aires. Tercer Congreso Nacional del Agua, Volumen 1: 321–336. San Juan.
- Sala J. M. 1969. El agua subterránea en el noroeste de la Provincia de Buenos Aires. Reunión sobre la geología del agua subterránea de la Provincia de Buenos Aires. Comisión de Investigaciones Científicas: 25–49. La Plata
- Sala J. M. y Auge M. P. 1973. Presencia de capas filtratnes en el noreste de la Provincia de Buenos Aires. Su determinación. En Actas del 5to. Congreso Geológico Argentino, Actas T5: 185-194. Buenos Aires.
- Santa Cruz J. M. 1972. Estudio sedimentológico de la Formación Puelches en la Prov. Bs. As. Revista de la Asoc. Geol. Arg. T27, 1: 5-62. Buenos Aires.
- Silva Busso A. y Santa Cruz J. 2005. Distribución de elementos traza en las aguas subterráneas del Partido de Escobar, Buenos Aires, Argentina. En: Ecología Austral 15:31-47.
- Schmidt R. 1987. Groundwater contamination susceptibility in Wisconsin. Wis. Dpt. of Nat. Res. Groundw. Manag. Plan Rep. # 5. WR 177-87: 1-27. Madison.
- Sotorníková R. y Vrba J. 1987. Some remarks on the concept of vulnerability maps. In Vulnerability of soil and groundwater to pollutants (W. van Duijvenbooden and H.G. van Waegeningh, eds.), TNO Committee on Hydrogeological Research, The Hague, Proceedings and Information N° 38, p. 471-476.
- Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación (SRHN). 2005. Niveles Guía Nacionales de Calidad de Agua Ambiente. República Argentina.
- Tapia A. 1937. Datos geológicos de la Provincia de Buenos Aires. En Aguas Minerales. Com. Nac. Climat. y Aguas Min. T 2: 23-90. Buenos Aires.
- Teruggi M. E. 1957. The nature and origin of Argentine loess. Journ. Sedim. Petrol., XXVII, 3: 322–332. Oxford.
- Thornthwaite C. W. 1948. An approach toward a rational classification of climate. Rep. from the Geographical Review: 5, 38. 1: 55 - 94.

- Thornthwaite C. W. y Mather J. R. 1957. Instrucciones y tablas para el cómputo de la evapotranspiración potencial y el balance hídrico. Traducido por el Instituto de Suelos y Agrotecnia.
- Torres H. y Vapñarsky C. 1999. Apéndice IV: La Aglomeración Gran Buenos Aires en 1991. Expansión espacial y crecimiento demográfico entre 1869 y 1991. Buenos Aires. Eudeba.
- Van Stempvoort D., Ewert L. y Wassenaar L. 1992. AVI: A method for Groundwater Protection Mapping in the Praire Province of Canada, PPWB Report No. 114, National Hydrogeology Research Institute, Saskatoon Saskatchewan, Canadá.
- Villumsen A., Jacobsen O. y Sonderskov C. 1983. Mapping the vulnerability of groundwater reservoirs with regard to surface pollution. Geol. Surv. of Denmark. Yearbook 1982: 17-38. Copenhagen.
- Vrba J. 1991. Mapping of groundwater vulnerability: working paper. IAH Groundwater Protection Commission Meeting, Tampa, Fda. UNESCO-Intern. Hydrological Programme IV, Project M 1.2. (a).
- Vullo D. L., Ceretti H. M., Hughes E. A., Ramírez S. y Zalts A. 2004. Indigenous Heavy metal multiresistant microbiota of Las Catonas stream. Environmental Monitoring and Assessment XXX: 1-17. Netherlands.
- Wilches-Chaux G. 1998. Auge, caída y levantada de Felipe Pinillo, Mecánico y soldador o Yo voy a correr el riesgo. La Red. Lima.
- Yrigoyen M. R. 1975. Geología de la Provincia de Buenos Aires. Geología del subsuelo y plataforma continental. VI Congreso Geológico Argentino. Relatoría: 140-168. Bahía Blanca.
- Zambrano J. J. 1974. Cuencas Sedimentarias en el subsuelo de la Provincia de Buenos Aires y zonas adyacentes. Revista de la Asociación Geológica Argentina, T 29, 4: 443-469. Buenos Aires.
- Zaporozec A. 1985. Groundwater protection principles and alternatives for Rock County. Wis. Geol. and Nat. Hist. Survey. Sp. Rp. # 8: 1-73. Madison.