



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MUSEO**

**TESIS DEL DOCTORADO EN CIENCIAS NATURALES**

**Evaluación ambiental del uso y gestión  
del agua subterránea en el partido de Tandil.  
Pautas para su gestión sustentable**

Doctoranda: Corina Iris Rodríguez

Licenciada en Diagnóstico y Gestión Ambiental. Magíster en Ecohidrología.

Director: Dr. Víctor Alejandro Ruiz de Galarreta

Co-director: Dr. Nauris Vitauts Dangavs

**2014**

## AGRADECIMIENTOS

*“Uno puede devolver un préstamo de oro,  
pero está en deuda de por vida con aquellos que son amables”*

Proverbio, autor desconocido.

Agradezco infinitamente a todos los que me acompañaron a transitar este camino de aprendizaje, tanto académico como personal.

A Alejandro Ruiz de Galarreta por su guía durante estos años de trabajo, su compañía y su apoyo sincero. A Nauris Dangavs por su buena predisposición y su colaboración.

A Roxana Banda Noriega por su acompañamiento, su afecto y sus enseñanzas. A mis compañeros Adriana Díaz y Roberto Esteban Miguel por su gran ayuda y su cariño. A Guillermina Jacinto, Marcela Guerrero, Rosario Barranquero y Marcelo Varni por sus consejos y contribuciones. A Juan Manuel Lavornia por su compañía diaria en la oficina.

A Anahí Tabera, Miguel Ángel Quiroga y Roberto Landa por enseñarme a trabajar en el laboratorio y acompañarme en esa tarea. Y a la Facultad de Ciencias Veterinarias de la Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires (UNICEN) por facilitarme el uso de los laboratorios.

Al Centro de Investigaciones y Estudios Ambientales (CINEA) y a la Facultad de Ciencias Humanas de la UNICEN por brindarme la posibilidad y el lugar de trabajo para desarrollar esta Tesis.

Al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) por financiar mi formación doctoral.

A la Facultad de Ciencias Naturales y Museo de la Universidad Nacional de La Plata por la posibilidad de desarrollar esta carrera.

A los evaluadores de la Tesis, Dra. Ilda Entraigas, Dr. Eduardo Kruse y Dr. Oscar Decastelli, por sus aportes y sugerencias que me permitieron mejorar la calidad del trabajo.

A la Maestría en Ecohidrología y su gente, que constituyó un pilar fundamental de mi formación de postgrado.

A quienes me abrieron las puertas y tranqueras de cada casa, escuela, estancia u oficina para permitirme realizar esta investigación.

A papá, por ser mi chofer en las tareas de campo. A mamá, por fomentar en mí la curiosidad y las ganas de aprender continuamente.

Y a Diego, por ser mi compañero de campo y de la vida.

---

## ÍNDICE

	Página
<b>RESUMEN</b>	1
<b>ABSTRACT</b>	4
<b>CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN</b>	7
1.1 Estructura de la Tesis	8
1.2 Planteo del problema de investigación	9
1.3 Fundamentos de la elección del tema	11
1.4 Objetivos	12
1.5 Hipótesis	12
1.6 Localización del área de estudio	13
1.7 Antecedentes	14
1.8 Marco teórico	21
1.9 Marco legal vinculado al uso y gestión del agua	32
1.9.1 A nivel internacional	32
1.9.2 En Argentina	34
1.9.3 En la provincia de Buenos Aires	38
1.9.4 En el partido de Tandil	43
<b>CAPÍTULO 2: METODOLOGÍA</b>	44
2.1 Relevamiento de información antecedente	44
2.2 Caracterización del área de estudio	45
2.2.1 Descripción del medio físico a escala regional y local	45
2.2.2 Descripción de aspectos socioeconómicos	46
2.2.3 Identificación de los actores involucrados en la gestión del agua	46
2.2.4 Realización de entrevistas a informantes calificados	47
2.2.5 Análisis de los conflictos en el uso del agua	48
2.2.6 Identificación de fuentes y cargas contaminantes del agua subterránea	48
2.3 Evaluación del uso y la gestión del agua subterránea para consumo humano	48
2.3.1 Selección de casos de estudio	49
2.3.2 Caracterización de los modos de uso y gestión del agua	49
2.3.3 Realización de cuestionarios a los habitantes	50
2.3.4 Análisis de los cambios de usos del suelo y su relación con la gestión del agua	50
2.3.5 Caracterización de la hidrodinámica subterránea	51
2.3.6 Evaluación de la calidad del agua para consumo humano	52
2.4 Evaluación del uso y la gestión del agua subterránea en actividades agropecuarias	56
2.4.1 Análisis del uso del agua subterránea para riego en el cultivo de papa	56
2.4.2 Análisis del manejo del agua subterránea en tambos	58
2.5 Enfoque sistémico y elaboración de pautas de gestión sustentable	58
2.5.1 Análisis sistémico	58
2.5.2 Análisis DAFO sobre la gestión del agua subterránea	59

---

2.5.3 Aplicación y análisis de indicadores de sustentabilidad ambiental	59
2.5.4 Realización de actividades de educación ambiental y transferencia	61
2.5.5 Propuesta de estrategias para la gestión ambiental sustentable del agua	61
<b>CAPÍTULO 3: ÁREA DE ESTUDIO</b>	<b>62</b>
3.1 Descripción del medio físico a escala regional	62
3.1.1 Climatología y balance hídrico	62
3.1.2 Geología y geomorfología	65
3.1.3 Hidrología superficial	68
3.1.4 Hidrología subterránea	70
3.1.5 Suelos	72
3.2 Aspectos socioeconómicos del partido de Tandil	73
3.2.1 Población	73
3.2.2 Actividades económico-productivas	74
3.3 Hidrogeología de la cuenca del arroyo Langueyú	75
3.4 Hidrogeología de la cuenca del arroyo Chapaleofú Chico	78
3.5 Localización de los sectores de estudio seleccionados	79
3.5.1 Barrios periurbanos	79
3.5.2 Localidades rurales	80
<b>CAPÍTULO 4: EVALUACIÓN DEL USO Y GESTIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA</b>	<b>82</b>
4.1 Actores involucrados en la gestión del agua	82
4.1.1 Nivel normativo y de control	83
4.1.2 Nivel económico-productivo	85
4.1.3 Nivel político-social	86
4.1.4 Nivel científico-ambiental	87
4.2 Conflictos y movilizaciones en relación al uso del agua	88
4.2.1 Barrio Cerro Los Leones	89
4.2.2 Paraje La Elena	90
4.2.3 Barrio Don Bosco	91
4.2.4 Análisis conjunto	92
4.3 Fuentes y cargas contaminantes del agua subterránea	92
4.3.1 De origen urbano	93
4.3.2 De origen agropecuario	94
4.3.3 De origen industrial	95
4.4 Uso y gestión del agua en la ciudad de Tandil	97
4.4.1 Reseña histórica del uso de los recursos hídricos en Tandil	97
4.4.2 Abastecimiento de agua potable y gestión del recurso en la ciudad	100
4.4.3 Calidad del agua en la red pública	103
4.5 Uso y gestión del agua en barrios periurbanos y en localidades rurales	107
4.5.1 Barrio Cerro Los Leones	108
4.5.1.1 Modos de uso y gestión del agua subterránea	109
4.5.1.2 Hidrodinámica subterránea	111
4.5.1.3 Calidad del agua	112

---

4.5.2 Barrio Don Bosco	114
4.5.2.1 Modos de uso y gestión del agua subterránea	115
4.5.2.2 Hidrodinámica subterránea	118
4.5.2.3 Calidad del agua	121
4.5.2.4 Transformaciones territoriales	127
4.5.3 María Ignacia	129
4.5.3.1 Modos de uso y gestión del agua subterránea	130
4.5.3.2 Hidrodinámica subterránea	136
4.5.3.3 Calidad del agua	138
4.5.4 Gardey	145
4.5.4.1 Modos de uso y gestión del agua subterránea	146
4.5.4.2 Hidrodinámica subterránea	150
4.5.4.3 Calidad del agua	152
4.5.4.4 Transformaciones territoriales	158
4.5.5 Análisis comparativo de los distintos casos de estudio	160
4.6 Uso y gestión del agua en actividades agropecuarias	162
4.6.1 Manejo del agua en el cultivo de papa bajo riego	162
4.6.2 Modos de uso del agua en tambos	167
4.6.2.1 Manejo de efluentes	169
4.6.2.2 Calidad del agua	170
<b>CAPÍTULO 5: ENFOQUE SISTÉMICO Y PAUTAS DE GESTIÓN SUSTENTABLE</b>	<b>173</b>
5.1 Análisis DAFO sobre la gestión del agua subterránea	173
5.2 Indicadores de sustentabilidad de los recursos hídricos	175
5.2.1 Indicadores PER	175
5.2.2 Índice GSII	177
5.3 Educación ambiental y capacitación	180
5.4 Pautas para la gestión sustentable del agua	182
5.4.1 Capacidad de gobernanza del agua subterránea	182
5.4.2 Planificación estratégica y acciones a nivel de cuenca	183
5.4.3 Participación en la planificación y la toma de decisiones	184
5.4.4 Sistemas de información y monitoreo del agua subterránea	185
5.4.5 Educación ambiental y comunicación	186
5.4.6 Instrumentos de manejo	186
5.4.7 Medidas estructurales y técnicas	187
<b>CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES Y CONSIDERACIONES FINALES</b>	<b>190</b>
6.1 Conclusiones	190
6.2 Comentario final	192
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>194</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>208</b>

---

## RESUMEN

Este trabajo de Tesis Doctoral tuvo como objetivo principal evaluar integralmente las características hidrogeológicas y la gestión de agua subterránea en ámbitos urbanos y rurales del partido de Tandil, localizado en la provincia de Buenos Aires, Argentina. Dicho objetivo se basa en la ocurrencia, en los últimos años, de manifestaciones y reclamos por parte de distintos actores sociales referidos a la disponibilidad, calidad y manejo del agua, que ponen de manifiesto la existencia de una problemática compleja que requiere un abordaje integrado.

La problemática hídrica actual se caracteriza por la ausencia de servicios sanitarios de agua potable y cloacas en diversos barrios periféricos de la ciudad de Tandil y localidades rurales del partido. Los habitantes de esas zonas sin servicios poseen condiciones particulares de explotación y uso del recurso, entre las que se destacan la falta de protección sanitaria de las perforaciones de extracción y la disposición *in situ* de los efluentes domiciliarios. Esta situación, sumada a la disposición de cargas contaminantes de distinto origen, favorece la degradación de la calidad del agua subterránea.

Otro aspecto importante del problema de investigación es la utilización del recurso subterráneo por parte de las actividades agropecuarias desarrolladas en la zona. Entre ellas, se destacan el riego en los cultivos de papa y en la producción lechera en tambos.

Considerando que los recursos hídricos son un componente del sistema ambiental, se pretende integrar los aspectos naturales y sociales de la problemática bajo estudio. Para ello se utilizaron métodos y técnicas provenientes de distintas disciplinas científicas.

La metodología incluyó en primera instancia el relevamiento y análisis de la información antecedente vinculada a la temática hidrológica local. Se describió y evaluó el área de estudio, tanto en sus aspectos sociales como físico-naturales y, en particular, se caracterizó el sistema hídrico subterráneo. Las características más relevantes incluyen la existencia de un acuífero freático en medio poroso clásico formado por sedimentos pampeanos y postpampeanos, sobrepuesto a un basamento cristalino compuesto esencialmente por migmatitas graníticas. El acuífero freático constituye la única fuente de abastecimiento de agua para consumo humano.

Se identificaron las principales cargas contaminantes que pueden afectar al recurso subterráneo. Se destaca como la más relevante la disposición de efluentes domiciliarios en pozos absorbentes en aquellas zonas donde no existe sistema cloacal.

Considerando la existencia de manifestaciones sociales vinculadas al acceso al agua, se identificaron los conflictos vinculados al uso del recurso. Se detectaron tres movilizaciones sociales ocurridas en distintos barrios periféricos de la ciudad de Tandil, entre 2008 y 2013, debidas a problemas en la calidad y accesibilidad. Sólo uno de los conflictos alcanzó su resolución en 2010. Además, se identificaron los actores involucrados en el manejo del agua y se realizaron entrevistas a los informantes clave.

Seguidamente, se seleccionaron casos de estudio dentro del partido de Tandil, incluyendo dos sectores periurbanos (barrios Cerro Los Leones y Don Bosco) y dos localidades rurales (Gardey y María Ignacia), debido al interés que presentan por su ausencia o cobertura parcial de servicios sanitarios.

En dichos sectores se monitoreó la hidrodinámica subterránea y se evaluó la calidad del agua para consumo, mediante la medición del contenido de nitratos y la realización de análisis microbiológicos. Los resultados evidenciaron que, en muchos casos, las concentraciones de nitratos superan lo recomendado por la legislación argentina y la presencia de microorganismos patógenos vuelven el agua no apta para dicho uso.

Estos resultados fueron vinculados con los modos de uso y explotación del agua subterránea para uso domiciliario. Se describieron las características constructivas de los pozos de extracción y se detectaron numerosas deficiencias en su diseño y construcción, las que afectan su protección sanitaria. Asimismo, se determinó la presencia de cargas contaminantes en las cercanías de las fuentes de agua, favoreciendo la contaminación tanto superficial como a través del flujo subterráneo.

La problemática hídrica en los casos de estudio tiene causas comunes, dadas por la cobertura parcial o ausencia de agua de red, la inexistencia de red cloacal y el escaso conocimiento sobre el funcionamiento del sistema hídrico subterráneo. La conjunción de dichas causas junto a las deficiencias en los sitios de captación y la descarga de los efluentes domiciliarios determina un ciclo local de extracción-transporte-disposición cuyo resultado es la contaminación del sistema.

Por otra parte, se evaluó el uso y gestión del agua subterránea en dos actividades agropecuarias: producción lechera en tambos y cultivo de papa bajo riego. En el primer caso, se caracterizó el manejo del agua y efluentes en tambos de Tandil y alrededores. Se detectó que consumen grandes volúmenes y eliminan sus efluentes en cavas, en muchos casos en contacto directo con el nivel freático. Se encontraron evidencias de degradación de la calidad físico-química del recurso subterráneo. En el segundo caso, se caracterizó el uso del agua en la producción de papa bajo riego, encontrándose que los productores locales aplican el riego complementario sin tener en cuenta las necesidades reales del cultivo. A modo de indicador de la apropiación del recurso por parte de la agricultura, se determinó su huella hídrica en el partido de Tandil, que alcanza 324 m<sup>3</sup>/t.

Se utilizó el enfoque sistémico para integrar la información tanto natural como social. En ese sentido, el análisis DAFO identificó las fortalezas y debilidades que afectan la gestión del agua subterránea a escala local. Las principales debilidades y amenazas derivan de la ausencia de capacidad institucional y de gobernabilidad en la gestión, así como la inexistencia de programas de monitoreo del recurso y estrategias de capacitación a la comunidad.

Se destaca la necesidad de promover la gestión integrada del agua basada en: su estudio y monitoreo; la generación y difusión del conocimiento sobre el recurso; la participación pública en la toma de decisiones relacionadas a la temática; y la aplicación de regulaciones sobre su uso y manejo.

A partir de la evaluación ambiental de la gestión hídrica, se propusieron indicadores de sustentabilidad ambiental útiles para la toma de decisiones y el seguimiento de dicha gestión. Asimismo, como aporte a la difusión científica en el área de estudio, se efectuaron actividades de educación ambiental en ámbitos formales y no formales, con el propósito de brindar información a los habitantes sobre la situación hidrológica local y contribuir a la generación de un cambio de actitudes en pos de la protección y conservación de los recursos hídricos.

Finalmente, se propusieron pautas para la gestión sustentable acordes a la realidad local. Estas pautas incluyeron el fortalecimiento de capacidades de gobernanza para la gestión y la creación de un organismo de cuenca encargado de planificar el uso de los recursos hídricos a largo plazo y establecer medidas de acción. Además, se plantea la ejecución de un sistema de monitoreo hidrológico, acompañado por comunicación y educación ambiental dando lugar a la participación de todos los actores involucrados en la gestión. Se propone también la implementación de herramientas de manejo, basados en regulaciones y controles así como en instrumentos económicos. Asimismo, se requiere la aplicación de un conjunto de medidas estructurales, basadas en el diseño y construcción de las perforaciones y sistemas de vertido de efluentes, la adecuación y mantenimiento de los sistemas de distribución y almacenamiento, la desinfección y potabilización del agua, y alternativas para el tratamiento de efluentes.

## **ABSTRACT**

The main aim of this Thesis work was to evaluate integrally the hydrogeological features and the groundwater management in urban and rural areas of Tandil district, located at Buenos Aires province, in Argentina. This objective was based on claims and protests during the last years by different stakeholders regarding the availability, quality and management of groundwater, which result in a complex problem that requires an integrated approach.

Nowadays, the water problem is characterized by a lack of sanitary services of drinking water and sewer system in several peripheral and rural areas of Tandil district. Inhabitants of those sectors exploit and use groundwater under particular conditions, mainly construction and design deficiencies in boreholes and cesspits. This situation, in addition to different contaminant loads disposal permits groundwater quality degradation.

Another relevant aspect of the research problem investigated in this work is the use of groundwater by agricultural and livestock activities taking place in the district, including the water for irrigation of potato crops and dairy farms.

Whereas water resources are a compound of the environmental system, both natural and social aspects of groundwater problem in Tandil were taken into account by employing methods and techniques of different sciences.

The methodology included the survey and analysis of existing information regarding to local hydrology. The study area was described and evaluated considering its social and natural aspects, allowing the characterization of the groundwater system. It includes a phreatic aquifer in porous media consisting in pampeano and postpampeano sediments supported on a crystalline basement composed essentially of granitic migmatite. This phreatic aquifer is the only source of water for human consumption.

The main contaminant loads impacting groundwater resource were identified. Domiciliary effluents disposal in cesspits is the more relevant load in areas without sanitary services.

Taking into consideration the occurrence of social claims related to water access, three conflicts about groundwater quality and availability were identified in different peripheral sectors of Tandil city, between 2008 y 2013. Only one case achieved its resolution in 2010. Besides, stakeholders involved in water management were recognized and several key informants were interviewed.

Then, four study cases were selected in Tandil district, including two peripheral sectors (Cerro Los Leones and Don Bosco) and two rural settlements (Gardey y María Ignacia). These cases were of prime interest due to the lack or partial coverage of sanitary services.

In these sectors, groundwater dynamic was monitored and water quality for human consumption was evaluated through determination of nitrate content and microbiological analysis. Results showed that

in many cases nitrate concentrations exceeded recommended levels of Argentinean law and that the presence of pathogen microorganisms makes water unsuitable for human consumption.

These results were matched to the use of groundwater and to the exploitation conditions at domiciliary scope. Boreholes features were described and numerous deficiencies related to design and construction aspects were detected, which affect its sanitary protection. Besides, the presence of contaminant loads and discharges near water sources were found, which favor water contamination since surface and through groundwater flow.

Groundwater problem in the cases studied has common causes originated by the lack or partial coverage of drinking water service, the absence of sewer system and the poor knowledge about groundwater system behavior. The join action of these causes as well as deficiencies in boreholes and cesspits determine a local cycle of extraction-transport-disposal resulting in groundwater contamination.

Moreover, the use and management of groundwater in two rural activities such as dairy farms and potatoes irrigation were evaluated. In dairy farms, groundwater and effluent management were characterized. There, large volumes of water are consumed for cleaning and effluents are disposed in diggings which, in most cases, take contact with phreatic level. Quality changes of groundwater were detected in these places. Regarding to potato crop, local farmers use complementary irrigation without taking into account the water needs of the plant. As an indicator of water appropriation by agriculture, the hydrological footprint was estimated at 324 m<sup>3</sup>/t.

From this diagnosis, a systemic approach was performed in order to integrate both natural and social information. A DAFO analysis was used to identify the strengths and weaknesses of groundwater management at local level. The main threats and weaknesses derived from the lack of institutional and governance capacity regarding water management, such as the inexistence of monitoring programs and strategies for community education.

It is worth mentioning that the promotion of an integrated water management is required based on: study and monitor of groundwater; generation and dissemination of information about water resources; public participation in decision taking related to water; and application of regulations regarding use and management of groundwater.

From the environmental evaluation of water management, sustainability indicators were proposed with the purpose of being useful for decision making and for monitoring of groundwater use. Besides, as a contribution for scientific communication in the study area, environmental education activities were developed in formal and informal scopes aimed at giving information to the inhabitants about the local hydrological situation which lead to a change of attitudes about water protection and conservation.

Finally, some guidelines for sustainable groundwater management were proposed, according to local situation. These guidelines included the strengthening of governance capacities for water management and the creation of a basin committee for long-term planning water use and to establish future actions. Also, a monitoring system of the resource was proposed, together with communication and

environmental education which allow the participation of stakeholders involved in groundwater management. Moreover, management tools implementation was recommended, including regulations, controls and economic tools. Furthermore, structural and technical actions were proposed referred to the design and building of boreholes and cesspits, improvement and maintenance of distribution and storage water systems, water disinfection and purification, and effluent treatment alternatives.

## CAPÍTULO 1

### INTRODUCCIÓN

La Tesis Doctoral que se presenta tiene por objeto cumplimentar el grado académico de Doctor en Ciencias Naturales de la Facultad de Ciencias Naturales y Museo (FCNyM) de la Universidad Nacional de La Plata (UNLP). La misma fue desarrollada por Corina Iris Rodríguez, Licenciada en Diagnóstico y Gestión Ambiental graduada en la Facultad de Ciencias Humanas (FCH) de la Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires (UNICEN) y Magíster en Evaluación Ambiental de Sistemas Hidrológicos (Mención Ecohidrología) por la FCNyM – UNLP. La Tesis se llevó adelante en el Centro de Investigaciones y Estudios Ambientales (CINEA) perteneciente a la UNICEN.

El tema de investigación fue elegido en base a que el agua es un recurso vital e imprescindible para el funcionamiento del sistema ambiental. Los seres humanos la utilizan de acuerdo a sus diferentes necesidades, y en su aprovechamiento introducen ciertas modificaciones en el ciclo hidrológico, afectando la disponibilidad, calidad y cantidad de la misma.

Para abordar el estudio de los recursos hídricos, es necesario comprender que forman parte del sistema ambiental, el cual se caracteriza por ser complejo, en el que confluyen *“múltiples procesos cuyas interrelaciones constituyen la estructura de un sistema que funciona como una totalidad organizada”* (García, 2011).

Un sistema complejo se conforma por una gran heterogeneidad de elementos, los que se encuentran dentro del dominio de diversas ramas de la ciencia, y por las funciones y procesos de dichos elementos dentro del sistema total (García, 2011). Esa estructura de componentes y procesos además es dinámica y evoluciona en el tiempo.

Estas cualidades del sistema ambiental generan la necesidad de aunar conocimientos y herramientas de diversas disciplinas científicas, sobre todo provenientes de las ciencias naturales y las sociales, partiendo de la base que el ambiente se constituye a partir de la interrelación entre la naturaleza y la sociedad (Fernández, 1998). Se requiere entonces un tratamiento integral, sistémico, que tenga en cuenta dimensiones propias del subsistema físico-biológico y otras vinculadas al subsistema socio-económico.

Bajo esta concepción teórica, esta Tesis Doctoral plantea el conocimiento del uso y la gestión del agua subterránea en el partido de Tandil, provincia de Buenos Aires. Cuando se hace referencia a su acceso y uso doméstico, no sólo es importante la disponibilidad de la misma, sino que su calidad debe reunir las condiciones mínimas de aptitud para el consumo humano. Y justamente uno de los factores determinantes de la calidad del recurso hídrico es el modo en que las personas lo utilizan.

La evaluación ambiental del agua subterránea requiere, en primera instancia, la realización de un diagnóstico integral del recurso en cuestión, sus características y sus modos de utilización. Dicho diagnóstico brindará los conocimientos fundamentales para una adecuada gestión del agua.

Como lo señala Custodio (2011), para gestionar el recurso subterráneo se requiere de normas específicas, medios económicos, coordinación por parte de una autoridad, y fundamentalmente de metas claras apoyadas en conocimientos sólidos, acompañados por la aceptación social que derivará de la disponibilidad y accesibilidad de información fiable.

Aguilera Klink (1999) afirma que *“la gestión del agua no es exclusivamente un problema de carácter ingenieril o técnico, sino de política social. El conocimiento científico juega un papel clave en dicha gestión”*.

Acorde a estas ideas, y como principal paradigma para la gestión de agua, el enfoque de la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH) ayuda a administrar y desarrollar dichos recursos en forma sostenible y equilibrada, teniendo en cuenta los intereses sociales, económicos y ambientales. Este enfoque reconoce los diferentes actores intervinientes en el proceso de gestión y las necesidades del medio ambiente (Global Water Partnership - GWP, 2009).

La búsqueda de la sustentabilidad de los recursos hídricos *“plantea nuevos y profundos desafíos a las maneras en que definimos los problemas, identificamos las soluciones y llevamos a cabo las acciones”* (Gallopín *et al.*, 2001). Se requiere además que los resultados de las investigaciones científicas sean utilizados en la elaboración de políticas para abordar las problemáticas hídricas y su vinculación con los demás componentes ambientales.

Según Gallopín *et al.* (2001) se reconoce que la utilización de enfoques sectoriales sobre los problemas ambientales en general han provocado su agravamiento. A lo que además se suma una incertidumbre fundamental debido a la comprensión limitada que los seres humanos hacemos de los sistemas complejos.

*“Es cada vez más claro que la búsqueda de un desarrollo sostenible requiere integrar factores económicos, sociales, culturales, políticos y ecológicos. [...] Requiere tener en cuenta simultáneamente las dimensiones locales y globales, y la forma en que interactúan. Y requiere ampliar los horizontes de espacio y tiempo para acoger la necesidad de la equidad intrageneracional e intergeneracional. En otras palabras, lo que se necesita no es ni más ni menos que un cambio fundamental en la manera en que enfocamos el desarrollo de las relaciones entre sociedad y naturaleza”* (Gallopín *et al.*, 2001).

## 1.1 ESTRUCTURA DE LA TESIS

El desarrollo de la Tesis se organiza en seis capítulos. El Capítulo I introduce al tema de investigación, presentando el problema bajo estudio, los fundamentos de su elección y la localización del

área de trabajo. Detalla los objetivos que guían el trabajo y la hipótesis planteada. Además, incluye un apartado sobre los principales antecedentes que sientan las bases para esta investigación, así como los conceptos teóricos fundamentales que guían el trabajo y el marco legal.

El Capítulo II describe las metodologías, materiales y herramientas utilizados en las distintas etapas de la investigación.

El Capítulo III presenta la caracterización del área de estudio, describiendo por un lado el medio físico del partido de Tandil, en particular el sistema hídrico subterráneo, y por otro lado los aspectos sociales que se vinculan con los recursos hídricos.

El Capítulo IV contiene los resultados de la investigación y la discusión de los mismos. Se divide en seis apartados, en los que se detallan: los actores involucrados en la gestión del agua en Tandil; los conflictos y movilizaciones relacionadas al recurso hídrico; las fuentes y cargas contaminantes que lo afectan; la calidad, uso y gestión del agua subterránea en la ciudad de Tandil, en localidades rurales y en barrios periféricos; y el manejo en actividades agropecuarias en el área bajo estudio.

El Capítulo V integra los resultados bajo un enfoque sistémico, presentando las principales fortalezas y debilidades de la gestión del agua subterránea en Tandil, y avanza en la proposición de pautas de gestión sustentable de los recursos hídricos a nivel local.

Para finalizar, el Capítulo VI presenta las conclusiones más importantes derivadas de la investigación y algunas consideraciones sobre el desarrollo de la Tesis.

## **1.2 PLANTEO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

En el partido de Tandil la principal fuente de agua para uso antrópico es el recurso hídrico subterráneo. Los usos principales de dicho recurso son el consumo humano, el uso agropecuario y el industrial. La distribución geográfica de los mismos obedece principalmente a la localización de los asentamientos humanos más importantes del distrito, tal es así que la ciudad cabecera de Tandil concentra la mayor parte del uso domiciliario, así como industrial, comercial y para la producción de servicios. Las localidades y parajes rurales de Tandil también se nutren del agua subterránea para uso domiciliario y para actividades agropecuarias. Asimismo, el uso del recurso en la agricultura y la ganadería se extiende a lo largo de todo el partido. En los apartados 3.2.2 y 4.3 se detallan las principales actividades económico-productivas, su distribución y su relación con el recurso hídrico subterráneo. Ante esta variada presencia y distribución de usos, la Tesis abordó los más representativos del área de estudio, como son el consumo humano en la ciudad de Tandil, barrios periurbanos y parajes rurales, y el uso agropecuario en el cultivo de papa bajo riego y la producción de leche en tambos.

La utilización de agua subterránea ofrece ventajas frente a otras fuentes, tales como su gran disponibilidad, grandes áreas de cobertura, mayor protección ante las fuentes de contaminación en superficie y escasa variación ante variaciones climáticas en una zona.

Para abastecer a la población de agua, en la ciudad cabecera de Tandil y en dos localidades rurales existen perforaciones en el acuífero freático coordinadas por Obras Sanitarias Tandil o por Cooperativas de servicios y la red de distribución cubre parcialmente los ejidos urbanos.

En aquellos sectores periurbanos y rurales que no están dotados de red de abastecimiento de agua, cada propietario cuenta con una perforación particular para acceder y explotar el acuífero freático. Asimismo, no existe a la fecha un sistema de control y asesoramiento en la construcción y diseño de las perforaciones particulares. Por lo cual, la mayoría no cuenta con el adecuado diseño que garantice la protección del acuífero y la vida útil de la obra. A esto se suma el escaso distanciamiento entre las perforaciones y los focos contaminantes presentes. Esta situación permite la interconexión a través del flujo subterráneo y genera, localmente, un elevado riesgo de contaminación del acuífero.

Por otra parte, históricamente en la ciudad de Tandil y parajes rurales se realizó la disposición de efluentes domiciliarios en el suelo, mediante pozos absorbentes también conocidos como pozos ciegos. Actualmente en la ciudad cabecera, la red cloacal está a cargo de Obras Sanitarias Tandil y su cobertura alcanza el 80% de la ciudad.

Diversos barrios y sectores periféricos y localidades rurales no poseen cloacas, manteniendo el sistema tradicional de disposición de efluentes en pozos absorbentes y, en menor medida, letrinas. En estos sistemas se repite el inconveniente de falta de diseño y planificación, generando así un foco contaminante que puede estar ubicado a escasa distancia de la perforación de bombeo. Este tipo de vertidos constituye una de las principales cargas contaminantes históricas y actuales hacia el acuífero libre que brinda la principal fuente de provisión de agua potable, y afecta su calidad tanto físico-química como bacteriológica. Este deterioro en la calidad del agua subterránea puede impactar sobre la salud humana, a través de enfermedades de origen hídrico.

Además, la actividad agropecuaria también se sirve del recurso subterráneo, destacándose la actividad tambera y los cultivos bajo riego, siendo el de la papa uno de los más importantes en esa zona. En los establecimientos lecheros mayormente no se aplican sistemas de tratamiento de efluentes, generando grandes volúmenes de aguas residuales de la limpieza del tambo junto con excrementos de los vacunos que son vertidos sobre el terreno o en cavas. En el caso del riego complementario de la papa, a pesar de la existencia de legislación sobre la realización y diseño constructivo de las perforaciones, no existen controles efectivos sobre dichas obras, así como tampoco de los caudales erogados por las mismas.

En los últimos años han ocurrido manifestaciones y reclamos relacionados a la disponibilidad, calidad y manejo del agua por parte de distintos actores sociales. En algunos casos los vecinos de sectores periurbanos exigieron el abastecimiento de agua potable ante el conocimiento de la degradación de la

calidad del agua subterránea; en otros sectores se reclama dicho abastecimiento por razones de la dificultad en la extracción del recurso debido a las características geológicas de emplazamiento de ciertos barrios periféricos; mientras que tanto en zonas periurbanas como en localidades rurales se exige el tendido de redes de recolección cloacal. Asimismo, ha habido reclamos referidos a la utilización del agua subterránea para el riego de cultivos a través de perforaciones sin habilitación.

La problemática hídrica planteada pone de manifiesto la necesidad de un enfoque integrado en el manejo de los recursos hídricos en general y del agua subterránea en particular y pone de relevancia la realización de un trabajo de investigación como el desarrollado.

### 1.3 FUNDAMENTOS DE LA ELECCIÓN DEL TEMA

Como se indicó en la Introducción, la generación de información sobre los recursos hídricos es una de las bases fundamentales para su gestión integrada como también lo es la disponibilidad de dicha información y su accesibilidad para los actores involucrados en el manejo y uso del agua. En esta idea se basa el fundamento de la elección del tema de investigación abordado.

Si bien existe legislación provincial y nacional sobre la temática de las aguas subterráneas, prevalecen las dificultades en su implementación, dada la complejidad del sistema ambiental. Por lo cual, para su aplicación eficiente, resulta indispensable una investigación como la que aquí se plantea.

Además, la sanción en 2010 de la Ley Provincial 14.126, que declara Paisaje Protegido de Interés Provincial a una zona del partido de Tandil denominada “la poligonal”, fundamenta también esta investigación. Dicha Ley tiene como objetivo principal conservar la integridad del paisaje, relevando y monitoreando los recursos naturales presentes, y abordando los conflictos ambientales locales. La zona protegida coincide con las cabeceras de las cuencas de los arroyos Langueyú, principalmente, y en menor medida de los arroyos Tandileofú y Chapaleofú.

Este trabajo se vuelve relevante en un contexto en el que Tandil requiere la elaboración de una planificación sobre el uso de los recursos hídricos, conociendo para ello las características hidrogeológicas del área de estudio y las condiciones actuales de uso y gestión del agua subterránea.

Esta investigación genera información sobre las debilidades que inciden sobre los usos del agua subterránea así como las fortalezas que deben potenciarse para su manejo adecuado, y pretende contribuir en la toma de decisiones en pos de una gestión integrada y sustentable del sistema a escala local y regional.

Concibiendo al ambiente como un sistema complejo, la originalidad de la Tesis se basa en el abordaje sistémico de la problemática hídrica en Tandil teniendo en cuenta componentes y procesos propios de los subsistemas natural y socioeconómico.

#### 1.4 OBJETIVOS

- General:

Evaluar integralmente las características hidrogeológicas y la gestión de agua subterránea en ámbitos urbanos y rurales del partido de Tandil y, a partir de ese diagnóstico ambiental, elaborar pautas tendientes a la gestión sustentable de los recursos hídricos.

- Específicos:

a) Caracterizar el sistema hídrico subterráneo del partido de Tandil, particularmente las cuencas de los arroyos Langueyú y Chapaleofú, describiendo la hidrodinámica subterránea y la calidad del agua.

b) Describir la gestión actual del agua subterránea en sectores urbanos y rurales del partido de Tandil, considerando los usos domiciliarios y agropecuarios del recurso, e identificar los actores involucrados en la misma.

c) Realizar una evaluación ambiental del uso y la gestión del agua subterránea en sectores urbanos y rurales del partido de Tandil, integrando los aspectos naturales y sociales de la problemática bajo estudio.

d) Detectar las debilidades, amenazas, fortalezas y oportunidades que afectan a la gestión del agua subterránea a escala local y, a partir de ello, establecer indicadores de sustentabilidad ambiental útiles para la evaluación y seguimiento de dicha gestión.

e) Realizar estrategias de educación ambiental en los sectores de trabajo y proponer pautas para la gestión sustentable del recurso a escala local.

#### 1.5 HIPÓTESIS

En el partido de Tandil, las condiciones de uso y gestión del recurso hídrico subterráneo ocasionan su degradación, afectando la calidad del agua para consumo humano con posibles consecuencias adversas sobre la salud y la calidad de vida. El manejo del agua carece de una visión integrada, limitando las posibilidades de una gestión ambientalmente adecuada. Ante tal situación, el análisis sistémico de la problemática hídrica local posibilita la generación de pautas para su gestión sustentable.

## 1.6 LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio corresponde al partido de Tandil, localizado en el SE de la provincia de Buenos Aires (Figura 1) y en el sector central del Sistema de Tandilia que ocupa la región centro-SE de dicha provincia y se orienta en sentido NO-SE.

El partido de Tandil abarca 4.935 km<sup>2</sup> y limita con los distritos de Rauch, Ayacucho, Balcarce, Lobería, Necochea, Benito Juárez y Azul.

La ciudad cabecera, denominada también Tandil, se relaciona con los partidos linderos a través de la Ruta Nacional N° 226 y las Provinciales N° 30 y 74.

Un conjunto de localidades y parajes concentran la población rural. Estos asentamientos de rango menor (ARM) incluyen a las localidades de Gardey y María Ignacia (Estación Vela) y también los parajes De La Canal, La Pastora, Fulton, Azucena, Desvío Aguirre e Iraola, que no superan el centenar de habitantes cada uno.

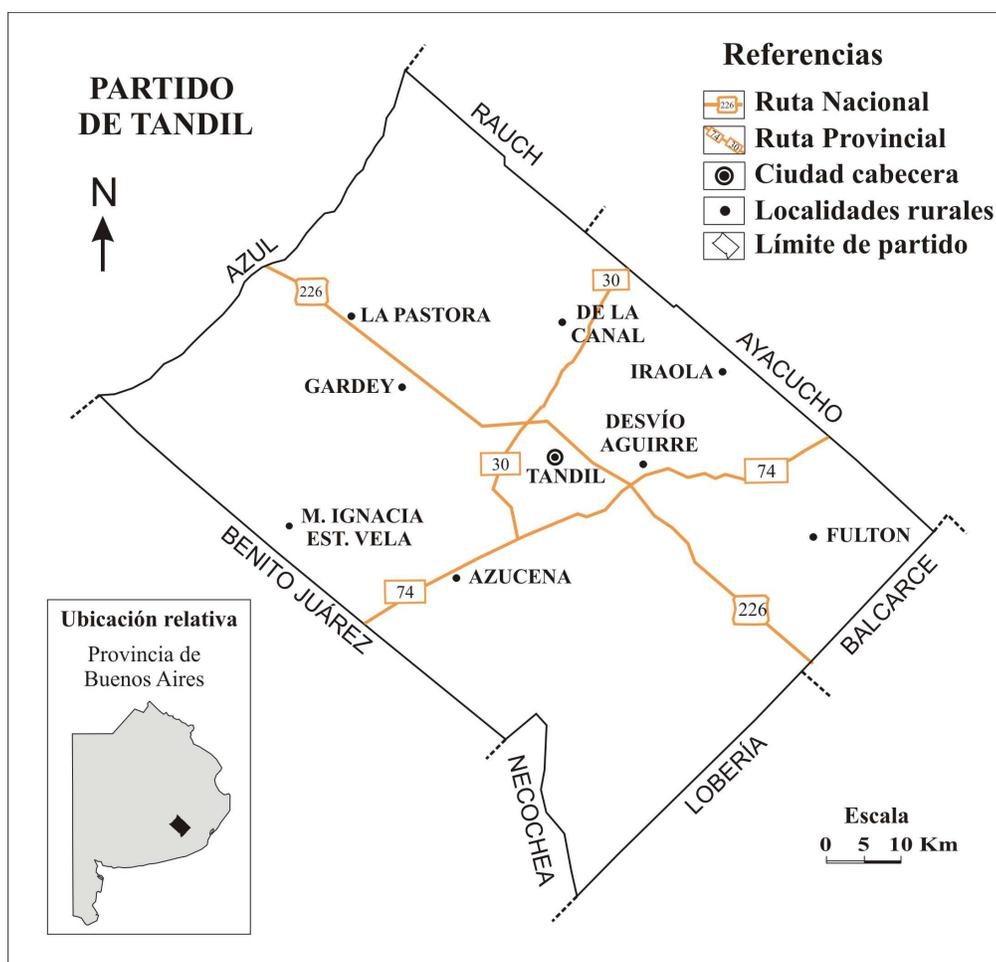


Figura 1. Partido de Tandil.

## 1.7 ANTECEDENTES

A partir del año 2004, distintos sectores sociales del partido de Tandil han manifestado su preocupación sobre la disponibilidad y calidad del recurso hídrico. En ese marco, numerosos artículos periodísticos en los medios locales dan cuenta de una serie de aspectos relacionados con dicho recurso. Al respecto, se destacan las noticias sobre la calidad del agua en el barrio Cerro Los Leones, las dificultades en el acceso al agua subterránea en el barrio La Elena, la planificación y ejecución de obras de abastecimiento de agua potable y extensión de redes cloacales, el uso desmedido del agua para riego, los controles de organismos públicos sobre la existencia de piletas de natación de cierto tamaño, la situación ambiental del arroyo Langueyú, entre muchas otras.

Son numerosos los estudios precedentes a nivel local, regional e internacional que investigan desde distintos puntos de vista aspectos relacionados con los recursos hídricos. En el caso de Tandil, resulta necesario abordar integralmente el estudio de las aguas subterráneas a escala del partido, dado su importancia en la vida de dicha población así como en el mantenimiento de los ecosistemas, teniendo siempre en cuenta el contexto ambiental con el que se interrelacionan.

En cuanto a los trabajos antecedentes que han caracterizado el medio físico de Tandilia a escala regional, existen numerosos autores que han detallado los aspectos geológicos, geomorfológicos e hidrológicos. Se destaca el trabajo de Teruggi y Kilmurray (1975) en el que describieron el Sistema de Tandilia en sus aspectos fisiográficos, estratigráficos, estructurales y geomorfológicos, haciendo también un detalle de la historia geológica. Por su parte, Yrigoyen (1975) caracterizó la geología del subsuelo de la provincia de Buenos Aires, y detalló la estratigrafía de las cuencas bonaerenses.

Fidalgo *et al.* (1975) realizaron una síntesis sobre la geología superficial de la llanura bonaerense mientras que Rabassa (1973) describió la geología superficial en la hoja topográfica IGM 3760-29-2 “Sierra del Tandil”.

Años más tarde, Teruggi y Killmurray (1980) profundizaron el estudio de las Sierras Septentrionales, haciendo una descripción detallada de la cubierta sedimentaria, la estratigrafía y la estructura del basamento.

Dalla Salda (1999) caracterizó el basamento granítico-metamórfico de Tandilia y presentó la cartografía de la geología general de la región. Posteriormente, Dalla Salda *et al.* (2005) avanzan en la caracterización en detalle de las rocas del basamento de Tandilia, su estructura, metamorfismo y tectónica. Por su parte, Iñíguez Rodríguez (1999) y Poiré y Spalletti (2005) describieron la cobertura sedimentaria de Tandilia y sus unidades estratigráficas.

Cingolani (2005) presentó las principales unidades morfoestructurales de la provincia de Buenos Aires, describiendo entre las áreas positivas al Sistema de Tandilia; por otra parte, Zárate y Rabassa (2005) caracterizaron la geomorfología de la provincia de Buenos Aires, dedicando un apartado a dicho Sistema.

Un panorama general de los recursos hídricos superficiales y subterráneos en la provincia de Buenos Aires fue realizado por Sala (1975), donde presentó un mapa isofreático a nivel provincial y brindó las principales características hidrogeológicas. En ese sentido, González (2005) avanzó en la descripción de los ambientes hidrogeológicos de la provincia, incluyendo la caracterización de la región serrana de Tandilia. Por su parte, Hernández (2005) describe la situación ambiental de los recursos hídricos subterráneos de la provincia, indicando el panorama para la zona de Tandilia.

La investigación desarrollada por Hernández *et al.* (2002) generó la línea de base ambiental para las aguas superficiales y subterráneas en la zona minera de Tandilia, basándose en la determinación de elementos mayoritarios e indicadores considerados como representativos de las condiciones ambientales.

A escala del partido de Tandil, existen antecedentes sobre la hidrogeología local, tales como el estudio sobre los recursos hídricos de Simini y Rivas Roche (1980) para el Municipio de Tandil y el trabajo de Sala *et al.* (1981) que caracterizó la parte superior de la cuenca del arroyo Langueyú.

Asimismo, investigaciones desarrolladas en el CINEA avanzaron en el conocimiento hidrogeológico de las cuencas de los arroyos Chapaleofú, Tandileofú y Langueyú, como se detalla a continuación.

La cuenca del arroyo Chapaleofú Chico ha sido objeto de caracterización en sus aspectos hidrogeológicos principales por parte de Pessolano (2011) y Pessolano *et al.* (2012). Dichos trabajos presentan las características hidrodinámicas e hidroquímicas del medio subterráneo y también el relevamiento de las principales actividades agropecuarias de la zona, destacándose algunos casos de contaminación puntual, tal como un tambo con elevado contenido de nitratos en el agua subterránea.

Por su parte, Ruiz de Galarreta (2006) ha caracterizado la geohidrología de la cuenca superior del arroyo Tandileofú, haciendo foco en la realización del balance hidrológico de la zona no saturada. Asimismo, Ruiz de Galarreta y Varni (2010) analizaron la recarga del acuífero freático de dicha cuenca.

En lo que respecta a la cuenca del arroyo Langueyú, se desarrollan investigaciones desde el año 2004 en el ámbito del CINEA, alcanzando un importante nivel de conocimientos sobre el medio subterráneo. Se destaca que la autora de esta Tesis ha sido partícipe y coautora en varios de los trabajos citados a continuación. Ruiz de Galarreta *et al.* (2007, 2010 y 2011) y Barranquero *et al.* (2008a, 2008b y 2009) describieron sus características geohidrológicas, detallando la hidrodinámica e hidroquímica subterránea.

Asimismo, en la cuenca del arroyo Langueyú, Banda Noriega *et al.* (2008) investigaron sobre las distintas cargas contaminantes que afectan actual o potencialmente al recurso hídrico, tanto en la faz superficial como subterránea, dentro de las cuales la generación y disposición de efluentes domiciliarios constituye una de las principales cargas contaminantes. Además, Ruiz de Galarreta *et al.* (2004) evaluaron las cargas contaminantes provenientes de la actividad industrial localizada en el Parque Industrial de Tandil, y su impacto potencial en relación a la vulnerabilidad del sistema hídrico.

Barranquero (2009) relacionó las características geohidrológicas de la cuenca del arroyo Langueyú con las cargas contaminantes más importantes que pueden afectar al recurso subterráneo. Posteriormente, en una investigación en la que participó la autora de esta Tesis, se estudió la profundidad del basamento cristalino que constituye el hidroapoyo del acuífero freático y sus variaciones a lo largo de la cuenca del arroyo Langueyú, mediante la realización de 33 sondeos eléctricos verticales (Barranquero *et al.*, 2011a). Además, Barranquero *et al.* (2010 y 2011b) indagaron en la cuantificación de la recarga subterránea en dicha cuenca. Las últimas investigaciones que abordaron la cuenca del arroyo Langueyú se basaron en análisis hidroquímicos detallados (Barranquero *et al.*, 2012a y 2013), incluyendo la evaluación de elementos minoritarios como el arsénico y el flúor (Barranquero *et al.*, 2012b).

En la ciudad de Tandil, el Plan de Desarrollo Territorial (Municipio de Tandil, 2005) indicó las coberturas de servicios de agua de red y sistema cloacal (para el año 2004), así como las deficiencias que los caracterizan.

El trabajo de Gallo *et al.* (2004) incluyó análisis químicos y microbiológicos de aguas realizados por la Dirección de Bromatología del Municipio de Tandil, cuyos resultados indicaron la existencia de contaminación bacteriológica de las aguas en distintos puntos de la ciudad y la presencia de niveles de nitratos superiores a lo recomendado para consumo humano.

Los trabajos de Ruiz de Galarreta y Banda Noriega (2005) y Barranquero *et al.* (2006) fueron realizados en colaboración con Obras Sanitarias Tandil, detectando la presencia de elevados niveles de nitratos en los pozos de extracción de agua subterránea más antiguos, que abastecen a la red pública.

Otros antecedentes que hacen referencia a la calidad del agua en la ciudad de Tandil son los trabajos de García *et al.* (2006) y García y Martín (2007), que relacionaron las características sociales de la población con las concentraciones de nitratos en aguas superficiales y subterráneas, a través de la utilización de un Sistema de Información Geográfica (SIG). Encontraron que los niveles de nitratos fueron superiores a los límites recomendados para consumo humano en un alto porcentaje de muestras, incluso en la red municipal de agua potable, determinando así áreas de riesgo según las condiciones de vida y los grupos etarios.

Marzoratti (2004) analizó la calidad del agua subterránea en un barrio periférico que carece de servicios sanitarios, encontrando zonas con mayores concentraciones de nitratos, incluso superiores a lo establecido en la legislación argentina, coincidiendo con áreas de mayor densidad poblacional y antigüedad de viviendas.

Por otra parte, Miranda del Fresno y Ulberich (2010 y 2011) analizaron el crecimiento urbano en la periferia S-SE de la ciudad de Tandil y establecieron los problemas ambientales relacionados a dicho crecimiento, entre los que se destaca la ausencia de servicios sanitarios, con la consecuente disposición de efluentes domiciliarios *in situ*.

Un antecedente que sienta las bases para el desarrollo de la presente investigación a nivel doctoral, es la Tesis de Maestría en Evaluación Ambiental de Sistemas Hidrológicos que realizó la autora de este

trabajo (Rodríguez, 2010) en la Facultad de Ciencias Naturales y Museo de la Universidad de la Plata. La investigación evaluó las condiciones de explotación del recurso hídrico en el barrio Cerro Los Leones, ubicado al O de la ciudad de Tandil, el cual no contaba con los servicios de agua potable y red cloacal. Para ello se realizó la caracterización física del área de estudio, particularmente la hidrodinámica e hidroquímica subterránea (Rodríguez *et al.*, 2008a y 2010a). A partir de análisis físico-químicos y bacteriológicos, se determinó la calidad del agua para consumo humano (Rodríguez *et al.*, 2008b) y se evaluó la gestión del recurso subterráneo en dicho sector periurbano (Rodríguez *et al.*, 2010b). En forma simultánea, se efectuaron en el barrio tareas de educación ambiental con el objetivo de fomentar la participación vecinal y facilitar la comprensión de la problemática ambiental presente en toda la comunidad, así como impulsar la toma de medidas preventivas y correctivas por parte de los vecinos ante la situación detectada (Rodríguez y Ruiz de Galarreta, 2008).

Durante todo el proceso de investigación la autora de la Tesis mantuvo un contacto muy fluido con los habitantes del barrio Cerro Los Leones, preocupados por la calidad del agua que utilizan para el consumo. Sucedió que simultáneamente con el desarrollo del trabajo, durante el año 2008 se produjo un período de escasas precipitaciones que provocó el descenso de los niveles freáticos (Rodríguez *et al.*, 2010a) y el secado de pozos en el barrio. Esta situación preocupó aún más a los pobladores quienes comenzaron a movilizarse conformando una Comisión barrial e iniciaron los reclamos ante las autoridades por el abastecimiento de agua potable. Cabe destacar que, ante el desarrollo de este conflicto, la información generada por la autora para la investigación de Maestría constituyó un antecedente fundamental, brindando información fiable y reciente sobre la problemática local.

En lo relativo a las localidades rurales, existen trabajos antecedentes que caracterizan su dinámica poblacional y sus problemáticas ambientales. Jacinto (2011) detalla las transformaciones territoriales acaecidas en los asentamientos de rango menor del partido de Tandil, entre los que se incluyen las localidades rurales de Gardey y María Ignacia – Estación Vela, así como los parajes De La Canal, Iraola y Fulton. Por su parte, Villalba *et al.* (2012) describieron las problemáticas ambientales vinculadas a los cambios territoriales en Gardey, entre los que se destaca la degradación del agua subterránea.

Díaz (2009 y 2010) analizó la situación sanitaria y la gestión del agua subterránea en el paraje De La Canal, detallando la calidad del agua mediante análisis químicos y microbiológicos y los modos de explotación del agua subterránea. Díaz y Ruiz de Galarreta (2009) dan cuenta de las percepciones sociales que los habitantes de dicho paraje tienen sobre el recurso hídrico y las dificultades existentes para realizar mejoras en la situación sanitaria.

Por otra parte, Ruiz de Galarreta y Banda Noriega (2004) en conjunto con la Comisión de Lucha contra plagas agrícolas de Tandil, organismo relacionado con el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) y con la Sociedad Rural de Tandil, realizaron un diagnóstico de las características hidroquímicas del agua subterránea en el ámbito rural del partido de Tandil, para evaluar la concentración de nitratos y agroquímicos, principalmente aquellos más comúnmente utilizados en la zona.

Con respecto al uso del agua en las actividades agropecuarias, la autora en su Tesis de Licenciatura evaluó la eficiencia del riego complementario del cultivo de papa, variedad *cv punta*, en el partido de Tandil (Rodríguez, 2005). Este trabajo determinó que los productores de papa aplican riego complementario sin planificación previa, regando por exceso o por defecto en los distintos meses del cultivo. Tal es así que la eficiencia del uso del agua es baja, porque la lámina de riego no es acorde a las necesidades de riego complementario. Se destaca la importancia de la planificación del riego complementario en los cultivos de papa en Tandil, como un paso en el camino hacia la gestión integrada de los recursos hídricos. Además, este tipo de cultivo conlleva la aplicación de fertilizantes nitrogenados, principalmente urea. La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura ha registrado que en el SE bonaerense, zona donde tradicionalmente se cultiva la papa, se aplican en promedio 100 kg/ha de urea (FAO, 2004).

Con el objetivo de generar un indicador sobre el uso del agua y su consumo por parte de la población, distintos autores han trabajado sobre los conceptos de huella hídrica, también conocida como huella hidrológica, y agua virtual. Hoekstra (2003) define el concepto de agua virtual contenida en un cultivo y propone cómo cuantificarla. Por su parte, Chapagain y Hoekstra (2004) proponen una metodología general para estimar la huella hídrica interna y externa de los países, y además presentan resultados sobre el agua virtual contenida en diferentes productos, tales como cultivos, carnes, ropas o insumos tecnológicos. Posteriormente, Chapagain y Orr (2009) proponen una metodología mejorada para estimar el agua virtual y la huella hídrica y lo aplican al caso de los tomates cultivados en España. Mekonnen y Hoekstra (2011) amplían estas investigaciones detallando los componentes de la huella hídrica, clasificándolos en azul, verde y gris, y brindan información sobre la misma para diferentes cultivos.

Con respecto al uso de agua en tambos, diferentes autores han indagado sobre el tema. Iramain *et al.* (2001) evaluaron el uso del agua subterránea en 43 tambos de la provincia de Buenos Aires, encontrando principalmente contaminación del agua subterránea por elevados tenores de nitratos y presencia de microorganismos patógenos excediendo lo recomendado por el Código Alimentario Argentino. Analizaron los principales usos del agua en la actividad, detectando que el 80% del volumen se consume en las placas de enfriamiento de leche, seguido por el lavado del corral de ordeño con un 15% del total de agua utilizada. También detectaron que la mayoría de las perforaciones se encontraban rodeadas en un radio de 100 m por pozos absorbentes, lagunas de efluentes y corrales de animales. En cuanto al destino de los efluentes, el 60% de los tambos los vierten en lagunas creadas para tal fin, y el resto lo hace sobre el terreno, en bajos o en cursos de agua.

Nosetti *et al.* (2002a) trabajaron sobre 65 tambos de la provincia de Buenos Aires, cuantificando la demanda de agua en las distintas operaciones. Estos autores determinaron que entre el 75% y el 91% se consume en el enfriamiento de la leche. Se destaca que el agua utilizada en esa actividad tiene posibilidades de ser reutilizada ya que su calidad no se ve alterada en el proceso de enfriamiento. Los

efluentes son eliminados en cuerpos de agua superficiales y en mayor medida en lagunas de tratamiento mal diseñadas, constituyendo en ambos casos un foco de contaminación para las aguas subterráneas. Los mismos autores avanzaron en la caracterización de los efluentes generados en 9 tambos de la provincia de Buenos Aires y la eficiencia de sus tratamientos (Nosetti *et al.*, 2002b). Determinaron que las lagunas artificiales no resultaron eficientes, debido a que no completan el tratamiento de degradación, según distintos parámetros químicos y microbiológicos analizados.

Por su parte, Villar (2008) analizó la calidad bacteriológica del agua subterránea en 33 tambos de la Cuenca Mar y Sierras, provincia de Buenos Aires, y evaluó su condición de aptitud para el consumo según el Código Alimentario Argentino. Determinó que 74% de los establecimientos ofrecía a sus terneros agua con presencia de microorganismos patógenos.

Núñez y Verellén (2007) elaboraron un diagnóstico ambiental de la actividad tambera en la cuenca del arroyo Tandileofú, identificando y analizando impactos reales y potenciales de dicha actividad. Entre los diversos problemas ambientales asociados a los establecimientos lecheros, detallaron aquellos relacionados con los recursos hídricos, encontrándose como uno de los más importantes la contaminación del agua debido al vertido de efluentes líquidos.

Una vez realizados el diagnóstico y la caracterización de los subsistemas social y natural, surge la necesidad de integrar dicha información. Según Gómez Orea y Gómez Villarino (2012), la matriz DAFO (Debilidades, Amenazas, Fortalezas y Oportunidades) es una herramienta útil para ello y constituye la base para el ordenamiento territorial. Pujadas y Font (1998) detallan la metodología DAFO y su aplicación en la planificación del territorio. Por su parte, el trabajo de Orozco Hernández y Peña Manjarrez (2004) utilizan dicha matriz para realizar una evaluación diagnóstica de la cuenca del Río Lerma, en México, en pos de la ordenación territorial de dicha área.

Por otra parte, cabe considerar la vital importancia de la generación de indicadores ambientales en el marco de la gestión del agua. La Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE, 2003) plantea que son útiles para conocer el funcionamiento del sistema ambiental y conocer el progreso hacia el desarrollo sostenible. Di Pace (2001) analiza los indicadores partiendo del concepto de sustentabilidad ambiental e indica los criterios instrumentales requeridos para la formulación de los mismos, entre los que detalla la perspectiva holística, la articulación causa-efecto, la capacidad proyectiva, entre otros. Asimismo, Meadows (1998) y OCDE (1993) plantean los criterios necesarios que los indicadores deben cumplir para su selección y utilización correcta.

Por otra parte, Quiroga Martínez (2003) presenta una guía metodológica para la elaboración de indicadores de sustentabilidad, siguiendo tanto criterios cualitativos como cuantitativos. En cuanto al acceso y utilización del agua, Billing *et al.* (1999) indican la metodología de construcción y utilización de una serie de indicadores de dos tipos, por un lado, del impacto causado por ciertas condiciones sanitarias, y por otro, del monitoreo de las políticas y acciones llevadas a cabo ante una situación dada.

OCDE (1993 y 2003) propone el modelo PER, constituido por indicadores Presión-Estado-Respuesta, el cual considera que las actividades humanas ejercen presiones sobre el ambiente, afectando el estado de los recursos naturales, a lo que la sociedad responde a través de políticas ambientales, económicas y sectoriales y a través de cambios en la conciencia y comportamiento. OCDE (2004) avanza en la selección de indicadores clave, aunque destaca que una de las principales falencias en su utilización es la generación de la información necesaria para su utilización.

Smeets y Weterings (1999) proponen ciertas modificaciones al modelo PER, generando el modelo DPSIR por sus siglas en inglés provenientes de los términos: Fuerzas actuantes, Presión, Estado, Impacto y Respuesta.

Otros antecedentes sobre la temática incluyen Blarasin *et al.* (2002) quienes plantean un conjunto de indicadores de presión, estado y respuesta relacionados a la calidad de las aguas subterráneas, útiles para realizar monitoreo ambiental, conocer los efectos sobre la población y definir políticas de planificación ante la problemática hídrica dada.

Allen (1996) establece indicadores de desarrollo urbano sustentable, entre los que detalla una serie aplicados a la gestión del agua, teniendo en cuenta los tres pilares en que se basa la sustentabilidad. Othax (2004) ofrece una propuesta de indicadores de sostenibilidad ambiental urbana para la evaluar la gestión del agua de red en Rauch. Por su parte, Guerrero *et al.* (2007) han generado una serie de indicadores para municipios bonaerenses con el fin de monitorear y evaluar distintas áreas temáticas vinculadas a lo ambiental, entre las que se incluyen los recursos hídricos.

Recientemente, Pandey *et al.* (2011) propusieron una serie de indicadores para medir la sustentabilidad del agua subterránea, a la que denominan GSII, por sus siglas en inglés de los términos Índice de Infraestructura para la Sustentabilidad del Agua subterránea. Dicho índice incluye diversos indicadores que se basan tanto en variables cualitativas como cuantitativas útiles para monitorear la sustentabilidad del recurso subterráneo.

En lo que respecta a la gestión del agua, existen diversos autores que han abordado el enfoque de la Gestión Integral de los Recursos Hídricos (GIRH). Entre ellos pueden citarse a Global Water Partnership (GWP, 2000 y 2009) que sientan las bases del modelo GIRH, detallando sus objetivos, modos de actuación a nivel de cuencas, lineamientos sobre la planificación estratégica a largo plazo de los recursos hídricos, sistemas de información y monitoreo, y la inclusión de la participación de los diversos actores.

La Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) brinda una serie de trabajos sobre la GIRH, tales como el de Dourojeanni (2009) que plantea los desafíos de dicho enfoque en los países latinoamericanos. Dourojeanni *et al.* (2002) analizan la gestión integrada a nivel de cuencas y Jouravlev (2003) vincula dicho enfoque con la gestión a nivel municipal.

Retomando el rol de la participación comunitaria en la gestión integrada del agua, se consideran como relevantes los antecedentes relativos a la educación ambiental en el ámbito de los recursos hídricos, tal como lo plantea GWP (2009), haciendo énfasis en la importancia de generar conciencia en el uso y

preservación del agua, mediante distintas herramientas de comunicación y participación. Por su parte, el informe de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura en conjunto con el Programa Hidrológico Internacional (UNESCO-IHP, 2012) presenta diversas experiencias de educación ambiental en relación al tema.

A nivel local, existen antecedentes de actividades educativas en sectores periurbanos y rurales de la ciudad de Tandil, tal como se presenta en Rodríguez *et al.* (2009), Rodríguez y Ruiz de Galarreta (2008), Díaz (2010) y Díaz *et al.* (2011).

## 1.8 MARCO TEÓRICO

En este apartado, se abordarán los principales conceptos teóricos que sientan las bases para la presente investigación.

En primer lugar, cabe citar a Dourojeanni (2011) quien plantea que *“la gestión del agua siempre se lleva a cabo, no se detiene nunca, porque nada ni nadie puede desarrollarse sin este vital recurso”*. Las condiciones en que se lleva a cabo esa gestión muchas veces conllevan a la captación de agua con una calidad no apropiada para el consumo humano, o en cantidades insuficientes, o en forma ilegal, incluso pudiendo afectar al ambiente o a otros usuarios. Es por ello que se requiere una organización adecuada para su gestión a nivel de sistema hídrico, o de lo contrario *“se generará un caos, se fomentará la inequidad, se incrementará la vulnerabilidad (...), se propagarán los conflictos y se tornará más difícil el desarrollo de grandes obras de aprovechamiento y de regulación del recurso”* (Dourojeanni, 2011).

Se requiere entonces un adecuado enfoque de gestión de los recursos hídricos. Como marco general, cabe definir el concepto de desarrollo sustentable, el cual implica satisfacer las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer el derecho de las generaciones futuras de satisfacer sus propias necesidades (World Commission on Environment and Development - WCED, 1987). Este concepto surgió en 1987, cuando la Comisión de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo presentó el estudio “Nuestro Futuro Común”, conocido como Informe Brundtland.

Para abordar una problemática ambiental, es necesario hacerlo desde una perspectiva sistémica. Como se anticipó en la Introducción de la Tesis, el ambiente es un sistema complejo, caracterizado por García (2006 y 2011) como una confluencia de diversos elementos y procesos interrelacionados, con una dinámica propia, que funciona como una totalidad organizada. Estas características exigen que el abordaje del sistema ambiental sea más que la suma de estudios de cada uno de los elementos constituyentes. Se deben evaluar sus interrelaciones, haciendo uso para ello de conocimientos y herramientas tanto de las ciencias naturales y como de las sociales. El autor plantea la necesidad del abordaje interdisciplinario, obra de un equipo de trabajo, con marcos conceptuales y metodológicos compartidos, y propone un esquema de la metodología para llevarlo adelante. *“El objetivo es llegar a una interpretación sistémica de*

*la problemática original que presenta el objeto de estudio. A partir de allí, será posible lograr un diagnóstico integrado, que provea las bases para proponer acciones concretas y políticas generales alternativas que permitan influir sobre la evolución del sistema”* (García, 2011).

El ambiente se constituye a partir de la interrelación entre la naturaleza y la sociedad (Fernández, 1998), por lo cual la búsqueda del desarrollo sustentable exige integrar factores económicos, sociales, culturales, políticos y ecológicos (Gallopín, 2003) y debe tender al equilibrio de modo tal de lograr el bienestar social, el desarrollo económico y la integridad ecológica (Allen, 1996), considerando también el horizonte temporal, en pos de lograr la equidad intrageneracional e intergeneracional.

Por otra parte, Gallopín *et al.* (2001) sostienen que la búsqueda de la sostenibilidad ambiental requiere cambios en la manera en que se desarrolla la ciencia, así como en la divulgación y uso de los conocimientos científicos. En el estudio de una problemática ambiental, es necesario definir el sistema dentro del cual se aísla el problema de investigación y analizar las interconexiones del problema con otras variables así como su evolución en el tiempo. Ante la complejidad que caracteriza al sistema ambiental, existe un grado de incertidumbre asociada, por lo que los autores proponen que en la investigación del problema y su posible evolución es necesario incluir todos los factores importantes, incluso aquellos que no son cuantificables (Gallopín *et al.*, 2001). En ese mismo sentido, Funtowicz y Ravetz (1993) proponen la consideración de la incertidumbre en la actividad científica, así como la necesidad de incorporar la participación de diversos actores involucrados en la toma de decisiones, en lo que llaman la “*comunidad de pares extendida*”.

En la Declaración de Dublín sobre el Agua y el Desarrollo Sostenible (CIAMA, 1992) se señala en su Principio N°1 “*dado que el agua es indispensable para la vida, la gestión eficaz de los recursos hídricos requiere de un enfoque integrado que concilie el desarrollo económico y social y la protección de los ecosistemas naturales*”. La Declaración también indica que la cuenca es la entidad geográfica más apropiada para la planificación y gestión del agua, tanto superficial como subterránea. Las características de los recursos hídricos hacen que esa unidad sea la cuenca hidrográfica, territorio naturalmente delimitado por las divisorias de aguas superficiales que convergen hacia un mismo cauce (Jouravlev, 2003). Sin embargo en la gran mayoría de los casos los límites de las cuencas no coinciden con las demarcaciones político-administrativas de los gobiernos.

El abordaje de las problemáticas hidrológicas debe enmarcarse en el enfoque de la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH), el cual plantea un tratamiento de los temas del agua de una manera sustentable y sistémica. Una de las definiciones más aceptadas sobre la GIRH es la brindada por la Asociación Mundial del Agua (GWP, 2000): “*un proceso que promueve el manejo y desarrollo coordinado del agua, la tierra y los recursos relacionados, con el fin de maximizar el bienestar social y económico resultante de manera equitativa sin comprometer la sustentabilidad de los ecosistemas vitales*”.

Según Jouravlev (2003) la gestión integrada de los recursos hídricos debe comprender la interrelación de: la gestión del agua para todos sus usos; el manejo del agua a nivel de cuencas; las diferentes fases del ciclo hidrológico; los intereses económicos, sociales, culturales y ambientales; aquellas características del recurso que tengan influencia sobre los usuarios (como la calidad o disponibilidad del agua); y las interrelaciones del agua con otros recursos naturales relacionados.

El enfoque de GIRH ayuda a administrar y desarrollar los recursos hídricos en forma sostenible y equilibrada, teniendo en cuenta los intereses sociales, económicos y ambientales. Reconoce los diferentes grupos de interés que compiten entre sí, los sectores que usan y sobreexplotan el agua, y las necesidades del medio ambiente. Pone énfasis en la participación en los procesos de formulación de leyes y políticas, estableciendo una buena gobernabilidad y creando acuerdos normativos e institucionales efectivos que permitan tomar decisiones más equitativas y sostenibles. Existe una gama de herramientas, tales como evaluaciones sociales y ambientales, instrumentos económicos, y sistemas de información y monitoreo, que respaldan este proceso (GWP, 2009).

Para abordar los desafíos de la gestión integrada del agua se necesitan respuestas de dos tipos principales, las estructurales y las institucionales, ambas relevantes e interrelacionadas. Las primeras, tienen un alto costo económico, tienden a ser visibles, generan más atención y se vuelven atractivas desde el punto de vista político. En cambio, las medidas institucionales son de bajo costo, a veces política o socialmente polémicas y a menudo menos tangibles, cuestiones por las que tienen un perfil mucho más bajo (GWP, 2009).

Particularmente para las aguas subterráneas, según Custodio (2011) existen diferentes aspectos involucrados en su gestión, por un lado la importancia de atender a una necesidad de agua, tanto para el uso sanitario y de consumo humano, como para las distintas actividades económicas. Por otra parte, se debe tender a la protección de la calidad del agua subterránea, regulando la construcción y mantenimiento de las captaciones y estableciendo áreas de protección de las destinadas al abastecimiento humano. En ese sentido es fundamental conocer la relación entre el agua subterránea y el sistema ambiental, teniendo en cuenta los diversos aspectos que lo componen como anteriormente fue descrito. También es muy importante considerar el valor que tiene el agua, tanto el costo de su obtención y puesta a disposición, y los precios que los usuarios deben enfrentar para adquirirla. Asimismo, deben considerarse los valores sociales asociados al uso del recurso subterráneo, debido a las tensiones o conflictos que pueden surgir en las comunidades por su aprovechamiento y accesibilidad.

Además, en la gestión integrada del agua, es sustancial la identificación de los actores, a los que Dourejeanni (2000) denomina "*actores del proceso de gestión*", y las relaciones entre ellos. El grado de participación de cada uno de ellos es variable. Pueden ser decisivos para dirigir los procesos, participantes activos o pasivos, poseedores de muchos o pocos recursos, actuar solos o agrupados, tener o no respaldo de gente o instituciones e intervenir desde el interior o exterior del ámbito. Además, pueden tener distinto

interés en participar en la toma de decisiones así como en la realización de prácticas tendientes a la sustentabilidad del recurso hídrico.

Es importante la participación social en la búsqueda y puesta en práctica de estrategias tendientes a la sustentabilidad del agua. El concepto de gestión social se refiere al “*proceso completo de acciones y toma de decisiones recorridas desde el abordaje de un problema, su estudio y comprensión, hasta el diseño y operación de propuestas en la realidad. Implica un aprendizaje conjunto y continuo para los grupos sociales, que les permite incidir en los procesos de la toma de decisiones dentro de la dimensión política*” (ITESO, 2001).

La Organización Mundial de la Salud (OMS, 2006) afirma la necesidad de conocer los actores involucrados en el manejo del agua, sus roles, responsabilidades e intereses. Llamas *et al.* (2006) indican que se requiere un alto grado de participación de los mismos en el manejo del agua subterránea, sin cuya colaboración es imposible alcanzar una buena gobernanza del agua.

El concepto de gobernanza implica la democratización del poder en relación al recurso teniendo como primer objetivo al individuo usuario del agua subterránea (Da Franca, 2012). La gobernanza se refiere a la mayor capacidad de decisión e influencia de los actores no gubernamentales sobre la definición de políticas públicas relacionadas al agua (V Foro Mundial del Agua, 2012).

En este sentido, Villholth (2006) destaca que la utilización y degradación cada vez mayor de las aguas subterráneas a nivel mundial, asociada a la escasa intervención de los gobiernos en su manejo, generan la necesidad de afrontar la problemática a través de esfuerzos coordinados. Se requiere de la participación de la comunidad científica, la formación de redes y la capacitación y promoción sobre el uso sustentable del agua. Asimismo, remarca que para el manejo integrado del agua se requiere tanto de conocimiento e información sobre los recursos y herramientas para su adecuado manejo, como de voluntad política para afrontar los problemas.

Según Custodio y Cardoso da Silva (2008) dos grandes dificultades deben ser superadas en la gestión del agua subterránea, las cuales tienen mucho que ver con los actores y su participación en la GIRH. Una es la falta de conocimiento, experiencias y voluntad de las organizaciones, instituciones y gobiernos, que además no saben cómo tratar con innumerables usuarios, actuando en gran parte fuera del sistema administrativo. Otra es la falta de conciencia de los usuarios respecto a las limitaciones de los acuíferos y de que se trata de un bien común.

Por lo tanto, es importante destacar que los recursos naturales, y entre ellos el agua, son bienes comunes, y pueden ser considerados recursos escasos cuya distribución y cualidades genera conflictos de interés. Bobbio *et al.* (1991) afirman que el conflicto es una forma de interacción entre individuos, grupos u organizaciones que implica enfrentamientos por el acceso a recursos escasos y su distribución.

En este sentido, cabe introducir al concepto de justicia ambiental, que según Acsehrad (2010) incluye una serie de principios, tales como asegurar: el acceso justo y equilibrado a los recursos naturales; que ningún grupo social deba soportar una parte desproporcionada de las consecuencias ambientalmente

negativas de actividades económicas o decisiones políticas; el acceso abierto a información relevante sobre el uso de los recursos naturales, el destino de los residuos y la localización de riesgos ambientales, así como el desarrollo de procesos participativos en la definición de programas y políticas ambientales.

En muchos casos, los conflictos ambientales derivan de interferencias entre distintos usos del suelo. El Decreto-Ley de la provincia de Buenos Aires 8912/77 denominado “Ordenamiento Territorial y Uso del Suelo” define el concepto uso del suelo como *“el destino establecido para el mismo en relación al conjunto de actividades humanas que se desarrollen o tenga las máximas posibilidades de desarrollarse en un área territorial”*.

El uso del suelo, resultado de la interacción entre la acción antrópica y el medio natural, otorga características particulares a un espacio geográfico (Marlenko, 2003), y es útil para conocer la organización del territorio, indicando los usos más frecuentes y su distribución espacial. Asimismo, el seguimiento de la evolución del uso del suelo permite medir la tendencia de crecimiento o decrecimiento de los mismos, y detectar aquellos que pueden provocar impactos ambientales, entre ellos los vinculados al recurso hídrico subterráneo.

Tras haber definido los conceptos teóricos más importantes referidos a la gestión del agua, seguidamente se abordan los relacionados al medio físico-natural, particularmente el medio subterráneo, avanzando desde las nociones más generales hacia las específicas.

El ciclo hidrológico es la permanente transferencia de agua de unos puntos de almacenamiento a otros, con cambios en sus estados físicos y en su composición química y biológica, movilizado por la energía solar y la acción gravitacional. Constituye un sistema por el cual el agua se transporta conservando su volumen. Por un lado, las variaciones de la temperatura son responsables de la ocurrencia de fenómenos como evaporación, condensación y congelamiento del agua. Mientras que la gravedad terrestre es la fuerza que ocasiona la precipitación, produce la infiltración y hace fluir las aguas superficiales y subterráneas. Este ciclo incluye tres arcos: oceánico, atmosférico y terrestre, donde este último se integra a su vez por la fase superficial y la subterránea, estrechamente relacionadas.

Custodio y Llamas (1976) definen a la hidrología subterránea o hidrogeología como aquella parte de la hidrología que estudia el almacenamiento, circulación y distribución de las aguas terrestres en la zona saturada de las formaciones geológicas, teniendo en cuenta sus propiedades físicas y químicas, sus interacciones con el medio físico y biológico y sus reacciones con la acción del hombre

El estrato o formación geológica que permite el paso del agua a través de poros o grietas, en cantidades económicamente útiles para que el hombre pueda aprovecharla se denomina acuífero (Custodio y Llamas, 1976). Existen diferentes tipos de acuíferos, que pueden clasificarse en función de sus características (depósitos fluviales, deltaicos, eólicos o glaciares, entre otros) o según la presión hidrostática del agua contenida en ellos. Se denominan libres, también llamados no confinados o freáticos, cuando existe una superficie libre del agua contenida en ellos, que está en equilibrio con la presión atmosférica. También existen acuíferos confinados, cautivos o a presión, en los cuales el agua

está sometida a una presión superior a la atmosférica y ocupa la totalidad de los poros o huecos de la formación geológica que lo contiene. Un tercer tipo de acuífero o variante de los confinados, corresponde a los semiconfinados, en los que el piso y/o el techo (límites inferior y superior) es semipermeable, constituyendo un acuitardo, material que permite una lenta filtración vertical del agua.

En una investigación hidrogeológica, es de interés conocer las características hidroquímicas e hidrodinámicas. En cuanto a los aspectos hidroquímicos, el agua, cuya molécula está formada por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno, posee propiedades físico-químicas singulares. Una de ellas es la gran capacidad de disolución, que hace que pueda contener gran cantidad de sustancias disueltas, que forme parte de otras o las ataque. De este modo, las aguas subterráneas naturales presentan distintas sustancias disueltas, mayormente en estado iónico (Custodio y Llamas, 1976).

Algunos iones son los mayoritarios o fundamentales, incluyen entre los aniones:  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  y  $\text{CO}_3\text{H}^-$ , y entre los cationes:  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{++}$  y  $\text{Mg}^{++}$ . Por otro lado, existen iones minoritarios, que se encuentran formando menos del 1% del contenido iónico total. Pueden mencionarse entre otros  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{K}^+$  y  $\text{Fe}^{++}$ , el  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{F}^-$ ,  $\text{NH}_4^+$  y  $\text{Sr}^{++}$ . Los iones  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$  y  $\text{K}^+$  pueden considerarse como mayoritarios en algunos casos. Un tercer grupo son los elementos traza, que se presentan en cantidades difícilmente medibles por medios químicos usuales. En general se encuentran de esta forma los iones metálicos derivados del As, Sb, Cr, Pb, Cu, Zn, Ba, V, Hg, U, etc.

Un indicador muy útil para expresar el contenido salino del agua es la conductividad eléctrica, la cual se define como la capacidad que tienen las sales en solución para conducir la corriente eléctrica, y se mide en  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Por lo tanto, cuanto mayor es la cantidad de sales disueltas, mayor será la conductividad eléctrica.

La composición química del agua puede clasificarse y representarse según diferentes metodologías, como indica Catalán Lafuente (1969), entre las que se incluyen los diagramas de Schoeller y Piper.

En el caso particular del nitrógeno, las sustancias nitrogenadas presentes en la materia orgánica sufren procesos que las convierten en amonio, nitritos o nitratos, dependiendo de que el medio sea reductor u oxidante, y que exista presencia de actividad bacteriana (Catalán Lafuente, 1969). En ese sentido, si bien el nitrógeno puede estar presente en distintas formas en las aguas subterráneas, en esta investigación interesa especialmente la presencia del ión nitrato debido a que es la forma más estable en que puede encontrarse el nitrógeno en el medio subterráneo, y porque su presencia en concentraciones mayores a niveles guía pueden tener efectos nocivos sobre la salud.

El origen y concentración del ión nitrato en las aguas subterráneas proviene mayormente de la oxidación bacteriana de la materia orgánica contenida en los efluentes domiciliarios, así como también de la aplicación de fertilizantes nitrogenados en cultivos agrícolas.

Se recomienda que las aguas con alto contenido del ión nitrato no sean utilizadas para bebida, especialmente en niños de menos de tres meses de edad y en adultos con ciertos problemas patológicos, debido a que poseen ciertas condiciones en la microflora digestiva que permiten la reducción a nitritos

pudiendo provocar cianosis (Catalán Lafuente, 1969; OMS, 2008). La Organización Mundial de la Salud indica que el principal riesgo para la salud del nitrato es la metahemoglobinemia, también llamada “síndrome del recién nacido cianótico”. “*El nitrato se reduce a nitrito en el estómago de los lactantes, y el nitrito puede oxidar la hemoglobina a metahemoglobina, que no puede transportar oxígeno por el organismo. La disminución del transporte de oxígeno se manifiesta clínicamente cuando la concentración de metahemoglobina alcanza o supera el 10% de la concentración normal de hemoglobina; esta enfermedad, denominada metahemoglobinemia, produce cianosis y, en concentraciones más altas, asfixia*”. Además, la hemoglobina de los lactantes menores tiene mayor tendencia a transformarse en metahemoglobina que la de los niños de más edad y los adultos (OMS, 2008 y 2011).

La calidad del agua para consumo también incluye la evaluación de la presencia de microorganismos patógenos. La Organización Mundial de la Salud (OMS, 2008) propone un conjunto de microorganismos indicadores que incluyen bacterias y virus patógenos. Entre las bacterias patógenas indicadoras se encuentran los coliformes totales, microorganismos que pueden sobrevivir y proliferar en el agua y resultan útiles para evaluar la eficacia de tratamientos y la limpieza de sistemas de distribución. También se incluyen las bacterias coliformes termotolerantes y en especial *Escherichia coli*, que constituyen indicadores de contaminación fecal. Otro indicador es el recuento de bacterias heterótrofas que resulta útil para evaluar tratamientos y procesos de desinfección, así como el estado y limpieza de sistemas de distribución. Los enterococos intestinales pertenecen al grupo de estreptococos fecales y constituyen un indicador de contaminación fecal, además tienden a sobrevivir más que *E. coli* en agua y son más resistentes a la cloración. Por otra parte, las bacterias del género *Clostridium* son altamente resistentes a los procesos de desinfección y a condiciones ambientales desfavorables y su supervivencia es excepcionalmente larga, por lo que componen un indicador de contaminación fecal previa y se asocia su presencia a la existencia de protozoos y virus en agua (OMS, 2008).

Asimismo, la legislación argentina detalla los microorganismos que deben considerarse para determinar la aptitud de las aguas para consumo humano, tal como se indica en el Capítulo 2 Metodología. En caso de que las muestras analizadas superen los niveles permisibles fijados, se convierten en aguas microbiológicamente no aptas, generando así un riesgo para la salud de la población que utiliza el recurso hídrico.

En cuanto a los aspectos hidrodinámicos, el agua en el subsuelo puede encontrarse en diferentes condiciones, desde agua que circula libremente hasta aquella que se encuentra firmemente fijada en el interior de las estructuras cristalinas. Existen dos zonas principales, una de aireación, que incluye subzonas de evapotranspiración, intermedia y capilar, a medida que se profundiza y donde el agua retenida llena sólo una parte de los espacios porosos; y una zona de saturación o de agua freática. El límite entre ambas está dado por la superficie freática (Davis y De Wiest, 1971).

El agua subterránea se desplaza desde los niveles energéticos más altos a los más bajos, debido a que su energía proviene de las diferencias de nivel y de presión. El movimiento del agua subterránea en medios porosos puede ser explicado a través de una ley conocida como Ley de Darcy. Específicamente en acuíferos con flujos laminares el caudal subterráneo está determinado por esta ley, la cual indica que el caudal circulante en un acuífero ( $Q$ ), medido en  $m^3/día$ , resulta de la multiplicación del área ( $A$ ) por el gradiente hidráulico ( $i$ ) y por el coeficiente de permeabilidad ( $K$ ). El gradiente hidráulico está determinado por la diferencia de la altura del nivel ( $h$ ) sobre la distancia ( $l$ ) recorrida a lo largo del flujo y es adimensional. Por su parte, el coeficiente de permeabilidad ( $m/día$ ) es una medida de la capacidad de un material para transmitir agua u otro fluido a través de sus intersticios (Custodio y Llamas, 1976).

La Ley de Darcy permite caracterizar el flujo subterráneo y comprender la lentitud del movimiento de las aguas subterráneas. Por este motivo, los acuíferos pueden mostrar la contaminación muchos años después de que el proceso responsable se haya producido. De igual forma, la recuperación del acuífero puede ser muy lenta. Además, el gran volumen de agua contenido permite, en muchos casos, que las contaminaciones extensas se manifiesten tardíamente y que los eventos puntuales no aparezcan hasta después de un largo tiempo, cuando sean detectados en captaciones en explotación (Custodio y Llamas, 1976).

Para conocer y analizar el flujo subterráneo se realizan mapas equipotenciales, los que se construyen a partir del trazado de líneas isopiezas, curvas de igual nivel de altura piezométrica o altura del agua, como se explica en la Metodología del presente trabajo.

Para acceder y explotar los acuíferos, se realizan distintos tipos de captaciones de agua subterránea. En este trabajo interesan especialmente las perforaciones o pozos, cuya forma es generalmente cilíndrica y su diámetro mucho menor que la profundidad. El agua ingresa a través de las paredes, determinando un flujo de tipo radial. El efecto primario del bombeo de pozos es generar un descenso del nivel del agua. Éste es necesario para establecer un gradiente hidráulico suficiente para poner el agua en movimiento hacia el pozo.

La realización de una captación, requiere de parámetros de diseño, que incluyen ciertas consideraciones, requisitos o técnicas tendientes a proteger el pozo de toda fuente de contaminación; construirlo con la profundidad y el diámetro adecuados de acuerdo con el caudal de extracción; y cuyos materiales cumplan las condiciones de resistencia y durabilidad.

Ante el objetivo de lograr una perforación eficiente, es necesario el conocimiento de las características hidrogeológicas, especialmente de los materiales constituyentes del acuífero, acompañado de un ensayo de bombeo que permita conocer su funcionamiento.

Cuando las características constructivas y de diseño de las perforaciones no son adecuadas, se agrava el riesgo de contaminación, por la posibilidad de ingreso de contaminantes en forma superficial a través de la boca y las paredes del pozo.

Estas perforaciones pueden verse afectadas por distintas fuentes de contaminación, cuya relación se establece a través del flujo subterráneo. Entre las principales fuentes se incluyen los vertidos domiciliarios en pozos absorbentes, las pérdidas existentes en la red cloacal, los efluentes líquidos de origen industrial, la disposición de residuos sólidos en el terreno y sin tratamiento, las pérdidas de tanques o ductos que almacenan o transportan combustibles o compuestos químicos, el uso de agroquímicos en la agricultura, el aporte de heces animales en tambos o establecimientos de engorde.

En la presente investigación, revisten especial interés las aguas residuales o efluentes cloacales, genéricamente denominadas efluentes domiciliarios. Éstas contienen diversos contaminantes, entre los que se destacan los microorganismos patógenos como ciertas bacterias, virus, protozoos y helmintos, y la materia orgánica, constituida por materia fecal, papel higiénico, restos de alimentos, jabones y detergentes (Mariñelarena, 2006). El manejo adecuado de las mismas resulta imprescindible para la protección de la salud pública, por lo cual estas aguas deberían ser tratadas (CoFAPyS, 1993). Existen diferentes modos de tratamiento, a través de procesos físicos (sedimentación), químicos (adición de reactivos químicos), biológicos (utilización de microorganismos), y sistemas de tratamiento por aplicación al terreno, el cual incluye procesos físicos, químicos y biológicos, generando la oxidación de la materia orgánica.

En muchos casos, tales como los sectores periurbanos y rurales en estudio, se realiza la disposición *in situ* y sin tratamiento de los efluentes domiciliarios. Puede llevarse a cabo según diferentes métodos, sea por derrame sobre la superficie del terreno, por dilución de los efluentes en aguas superficiales, o por disposición subsuperficial. Este último utiliza excavaciones para verter las aguas residuales en el terreno, por debajo de su superficie.

Dentro de las instalaciones sanitarias domiciliarias, existen letrinas con o sin arrastre hidráulico, cámaras sépticas, pozos absorbentes, campos de infiltración y percolación subsuperficial, entre otros (CoFAPyS, 1993). Es importante el tratamiento que se lleve a cabo previo a la disposición. La decantación de los sólidos de mayor tamaño en cámaras sépticas previas a la disposición subsuperficial, puede colaborar en la degradación y disminuir los aportes orgánicos.

Existen numerosos criterios de diseño para los sistemas de tratamiento y disposición de efluentes domiciliarios. En el caso de las cámaras sépticas, deben tener ventilación y accesos herméticos y con posibilidad de realizar tareas de limpieza, así como requieren una cobertura superficial de tierra que favorece la amortiguación de los cambios de temperatura.

Una vez que los efluentes son depositados en pozos absorbentes y letrinas, sufren diferentes procesos de dilución, retardación y eliminación, tanto en la zona no saturada como en la saturada, que conllevan a la reducción de los contaminantes (Custodio y Llamas, 1976). Cabe señalar la importancia de la zona no saturada ya que en ella ocurren los principales mecanismos naturales de atenuación de las cargas contaminantes vertidas en la superficie, incluyendo los procesos fisicoquímicos de oxidación, precipitación y complejación, y fenómenos biológicos de degradación aerobia, que la convierten en el primero y más eficaz escudo protector de los sistemas acuíferos.

Tanto el tiempo transcurrido como la temperatura, afectan los procesos de eliminación por descomposición microbiana. En condiciones normales de digestión, al cabo de un año es casi nula la supervivencia de los diferentes patógenos presentes. Los virus sobreviven generalmente hasta 6 meses en el suelo; las bacterias lo hacen alrededor de 2 meses, pudiendo llegar a 3 años; los protozoos tienen la menor supervivencia que no supera 10 días; mientras que los helmintos viven generalmente 2 años en el suelo, alcanzando los 7 años en algunos casos (CoFAPyS, 1993).

Las aguas residuales domésticas poseen una microflora característica, principalmente bacterias de putrefacción, como *Pseudomonas fluorescens*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Bacillus cereus*, *Aerobacter cloacae*, *Proteus vulgaris*, entre otras (Rheinheimer, 1987). Además, presentan una alta proporción de coliformes, los que constituyen un indicador de la contaminación fecal. Estas aguas son también portadoras de agentes patógenos para la especie humana, entre los que pueden citarse las bacterias intestinales *Salmonella typhi* y *Salmonella paratyphi*, causantes de las enfermedades tíficas; el *Vibrio cholerae*, agente del cólera; el bacilo tuberculoso *Mycobacterium tuberculosis*. Entre los virus pueden encontrarse los causantes de la poliomielitis y la hepatitis.

Por otra parte, la presente investigación abordará dos actividades agropecuarias con importante desarrollo en el partido de Tandil y en la región. Por un lado, la producción de leche en tambos es una de las actividades ganaderas que mayor cantidad de agua demanda y cuya actividad involucra importantes volúmenes de efluentes líquidos generados en las diversas actividades de las operaciones de ordeño, como ser la limpieza de corrales, sala y máquina de ordeño (Nosetti *et al.*, 2002a) que contienen heces animales. En la Argentina se ha registrado, en los últimos años, una tendencia a la intensificación y concentración de los rodeos lecheros. Esa transformación del sistema de producción genera un incremento de los efluentes (Nosetti *et al.*, 2002b). Según estos autores, en la provincia de Buenos Aires, la eliminación de los efluentes de los tambos consiste en la mayoría de los casos en conducirlos a lagunas artificiales como sistema de tratamiento, y en menor medida son arrojados directamente en arroyos, lagunas naturales, canales o sobre el terreno.

Por otro lado, y continuando con las actividades agropecuarias, la aplicación de riego a los cultivos agrícolas también contribuye a la degradación del agua subterránea, por una parte debido a los elevados volúmenes de extracción, y por otro a la aplicación conjunta de agroquímicos y fertilizantes sobre los cultivos, los cuales pueden infiltrar y alcanzar el acuífero mediante el retorno de riego.

En este caso se analizará el uso del agua de riego en los cultivos de papa, para lo cual cabe definir las necesidades netas de riego, que consisten en la lámina de agua que requiere el cultivo para su producción normal, es decir la cantidad de agua en milímetros necesaria para satisfacer la evapotranspiración, sin considerar la contribución de las precipitaciones, de las aguas subterráneas, del almacenaje del suelo y de la circulación superficial (Doorenbos y Pruitt, 1990).

Además, se debe tener en cuenta que en todo sistema de aplicación de riego complementario existen pérdidas en las operaciones, por medio de las cañerías, por la rápida evaporación del agua

aplicada, por la acumulación del agua en diferentes sectores del relieve del suelo o por un importante escurrimiento superficial. Entonces, es preciso ajustar las necesidades de riego netas en función de la eficiencia del equipo de riego, que siempre es menor al 100%. En la zona de estudio el sistema de riego más utilizado es por aspersión, que alcanza una eficiencia de 67% (Doorenbos y Pruitt, 1990).

La huella hídrica es un indicador útil para expresar la apropiación del agua dulce y en este trabajo será utilizada para evaluar su utilización en el cultivo de papa bajo riego. Consiste en la suma de las cantidades de agua consumidas en todos las etapas del proceso productivo de un bien (Mekonnen y Hoekstra, 2011), y se expresa en volumen de agua por unidad de producto ( $m^3/t$ ). La huella hídrica de una zona es igual a la suma de todos los procesos que consumen agua en esa área. Por ello, se incluye la huella hídrica “azul” que se refiere al volumen de agua superficial y subterránea consumida (evaporada) como resultado de la producción de un bien, la “verde” como el agua consumida proveniente de las precipitaciones, y la “gris” que hace referencia al volumen de agua dulce que es requerido para asimilar la carga de contaminantes generada.

En este sentido, la huella hídrica es un indicador directo e indirecto de la apropiación del agua, que incluye tanto el uso consuntivo (verde y azul) como el agua requerida para asimilar la contaminación (gris).

Finalmente, cabe considerar que bajo el enfoque de la GIRH es necesario mantener un seguimiento constante de las fuentes, cantidad y calidad del agua, así como las actividades antrópicas que lo afectan, como punto de partida para lograr el desarrollo sustentable (Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, 1992). Custodio (2011) plantea que la información del pasado es muy útil, ya que es cuando se han originado buena parte de los cambios actuales y futuros, y considera que su estudio brinda las bases para validar las herramientas que se van a aplicar para las evaluaciones futuras.

Estas ideas fundamentan la utilización de indicadores de sustentabilidad, cuya principal función es la comunicación, por lo cual deben ser aptos para promover el intercambio de información relacionada a los distintos aspectos del recurso hídrico. Para ello, los indicadores simplifican la realidad compleja y focalizan en ciertos aspectos que son considerados relevantes o sobre los que hay información (Smeets y Weterings, 1999). Deben brindar una imagen representativa de las condiciones ambientales, así como las presiones y respuestas de la sociedad; generar información concisa y clara, fácil de comprender y utilizar (OCDE, 2003), y responder a cambios en el ambiente y las actividades humanas relacionadas, y ser útiles para realizar comparaciones entre diferentes sitios.

Según el *International Council for Local Environmental Initiatives* (ICLEI, 1996), los indicadores de sustentabilidad son “*instrumentos para medir las condiciones aceptadas por una sociedad como criterios válidos para la evaluación del progreso hacia la sustentabilidad*”. Un buen indicador alerta sobre el problema y revela la necesidad de solucionarlo.

Asimismo, los indicadores ambientales son útiles en la elaboración de políticas, porque proveen información sobre la problemática en estudio necesaria para capacitar a los tomadores de decisiones,

identifican factores clave sobre los cuales fijar prioridades, y sirven para monitorear los efectos de las políticas llevadas a cabo (Smeets y Weterings, 1999).

Además de los indicadores, se requieren otras estrategias tendientes a la sustentabilidad, siendo una de ellas la educación ambiental. Ésta se caracteriza por su visión interdisciplinaria, como un encuentro de saberes, resultado de la articulación de diversas disciplinas y experiencias educativas, que permiten tener una percepción integrada del ambiente y emprender acciones racionales y en respuesta a las necesidades sociales (Conferencia Intergubernamental sobre Educación Ambiental, 1977).

En este sentido, la educación ambiental puede entenderse como un tema transversal al desarrollo cultural de la sociedad y, por tanto, su contribución a la búsqueda de soluciones de los problemas ambientales viene dado por su inserción en el quehacer cotidiano de la población (Márquez Fernández, 2003). Consecuentemente, deberá abarcar las actividades y grupos sociales cuyas acciones influyen en la relación de la sociedad y el ambiente. Resulta imprescindible para lograr un cambio en las relaciones de las personas con su entorno, como forma de mejorar el uso y gestión de los recursos naturales y reducir los impactos al ambiente, y en este caso al recurso hídrico. Se trata de tareas educativas con énfasis preventivo, tratando de promover un cambio de hábitos y actitudes cotidianas que se concreten en acciones ambientalmente adecuadas.

La importancia de desarrollar la educación ambiental se basa en reconocer que los problemas ambientales, y en este caso los vinculados al agua, deben plantearse no sólo a través de la aplicación de normas, de procedimientos administrativos o de la aplicación tecnológica, sino que es imprescindible desarrollar un proceso educativo que se oriente al cambio de valores, concepciones y actitudes hacia el ambiente.

## **1.9 MARCO LEGAL VINCULADO AL USO Y GESTIÓN DEL AGUA**

En este apartado se realiza una reseña de las normativas vigentes en relación al uso y la gestión del agua, tanto a nivel internacional y nacional, como así también en la provincia de Buenos Aires y en el partido de Tandil.

Podrá observarse que la legislación existente es amplia y cubre diversos aspectos de la gestión del agua y sus distintos usos, a saber:

### **1.9.1 A nivel internacional**

En el ámbito internacional, se destacan las Guías de la Organización Mundial de la Salud para la calidad del agua potable (OMS, 2008) y la Directiva 98/83/CE de la Comunidad Europea, relativa a la calidad de las aguas destinadas al consumo humano.

### Guías de la Organización Mundial de la Salud para la calidad del agua potable

Estas Guías sientan las bases para las regulaciones a nivel mundial. Existen hasta el momento tres ediciones de las Guías, siendo la tercera la correspondiente al año 2008 y que se orienta a garantizar la inocuidad del agua potable y aborda las responsabilidades de los diferentes interesados. Además, en dicha edición se agregan nuevas sustancias que en las ediciones anteriores no se habían tenido en cuenta.

Específicamente el Capítulo 11 de la Guía contiene información detallada sobre posibles agentes patógenos, describiendo sus efectos sobre la salud humana, sus fuentes y prevalencia, sus vías de transmisión, y la relevancia del agua de consumo como fuente de infección. Según la OMS (2008) *“las hojas de información sobre microorganismos que pueden utilizarse como indicadores de la eficacia de las medidas de control o como índices de la posible presencia de microorganismos patógenos proporcionan información sobre su valor como indicador, sus fuentes y prevalencia, su aplicación, y la relevancia de su detección”*. Dicho Capítulo de la Guía incluye numerosas bacterias, virus, protozoos y helmintos patógenos, y también cianobacterias tóxicas. Establece un conjunto de microorganismos indicadores que pueden ser detectados mediante métodos sencillos y de bajo costo, entre los que se destacan: total de bacterias coliformes, *Escherichia coli* y bacterias coliformes termotolerantes, recuento de heterótrofos en placa, enterococos intestinales, las bacterias del género *Clostridium*, entre otros.

Por otra parte, en el Capítulo 12 la Guía desarrolla información sobre numerosas sustancias químicas que pueden estar contenidas en el agua. Específicamente contiene un apartado sobre el nitrato y el nitrito, indicando que son iones de origen natural que forman parte del ciclo del nitrógeno. Si bien indica que la concentración de nitrato en aguas subterráneas y superficiales suele ser normalmente baja, ésta puede incrementarse por fuentes contaminantes agrícolas, residuos y efluentes humanos y animales. Las condiciones anaerobias pueden favorecer la formación y persistencia del nitrito.

La Guía plantea como valor de referencia para el nitrato una concentración de 50 mg/L, especialmente para proteger a los lactantes (alimentados con biberón) contra la metahemoglobinemia (exposición a corto plazo). En el mismo sentido, el valor de referencia es de 3 mg/L para el nitrito en pos de proteger a los lactantes. La Guía presenta una reseña toxicológica sobre ambos iones, indicando que el principal riesgo para la salud del nitrato es la metahemoglobinemia, que fue previamente explicada en el apartado 1.8 Marco Teórico.

### Directiva 98/83/CE de la Comunidad Europea

La Directiva 98/83/CE relativa a la calidad de las aguas destinadas al consumo humano, *“tiene por objeto proteger la salud de las personas de los efectos adversos derivados de la contaminación de aguas destinadas al uso consuntivo, garantizando su salubridad y limpieza”* (Comunidad Europea, 1998). La Directiva incluye artículos que establecen definiciones, exenciones, obligaciones generales, normas de calidad, cuestiones sobre cumplimiento y control, medidas correctivas, entre otros aspectos. En particular,

el Anexo I detalla los parámetros recomendados para aguas de consumo humano. En cuanto a los aspectos microbiológicos, la Parte A del Anexo recomienda la ausencia de *Escherichia coli*, enterococos y *Pseudomonas aeruginosa*, y establece valores de recuento de colonias para aguas embotelladas, mientras que la Parte C recomienda la ausencia de *Clostridium perfringens*. Los aspectos químicos son detallados en la Parte B del mismo Anexo, donde se incluye el valor máximo recomendado para el ión nitrato de 50 mg/L, mientras que es 0,5 mg/L para el ión nitrito. Además, en la Parte C se indican distintos parámetros indicadores y sus valores de referencia, entre los que se encuentran la conductividad eléctrica con un máximo recomendado de 2500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , los aniones cloruro y sulfato con un máximo de 250 mg/L en ambos casos, y el catión sodio con un valor recomendado máximo de 200 mg/L. Se incluyen también condiciones sobre el olor, el sabor y la turbidez del agua, que deben ser “*aceptables para los consumidores y sin cambios anómalos*”.

En este sentido, De la Cruz Vera *et al.* (2012) realizaron un análisis de la Directiva, comparando los parámetros recomendados en la misma con los establecidos en las normativas de distintos países entre ellos Argentina. Los autores plantean que los valores paramétricos químicos y microbiológicos de la Directiva se encuentran en el mismo rango que los establecidos en otros países, con excepción de los plaguicidas.

### **1.9.2 En Argentina**

En Argentina existen distintas normativas que regulan el ambiente, y en particular el agua. A continuación se detallan las regulaciones más importantes.

#### Constitución Nacional Argentina

A partir de la Reforma Constitucional de 1994, la República Argentina incluye la protección del medio ambiente en la Constitución. El artículo 41° establece que “*todos los habitantes gozan del derecho a un ambiente sano, equilibrado, apto para el desarrollo humano y para que las actividades productivas satisfagan las necesidades presentes sin comprometer las de las generaciones futuras; y tienen el deber de preservarlo. El daño ambiental generará prioritariamente la obligación de recomponer, según lo establezca la ley. Las autoridades proveerán a la protección de este derecho, a la utilización racional de los recursos naturales, a la preservación del patrimonio natural y cultural y de la diversidad biológica, y a la información y educación ambientales. Corresponde a la Nación dictar las normas que contengan los presupuestos mínimos de protección, y a las provincias, las necesarias para complementarlas, sin que aquellas alteren las jurisdicciones locales [...]*”. Asimismo, el artículo 43° dispone que toda persona puede interponer una acción de amparo en lo relativo a los derechos que protegen al ambiente. Además, el artículo 124° en su parte final indica que “*corresponde a las provincias el dominio originario de los recursos naturales existentes en su territorio*”.

Ley Nacional N° 25.675: Ley General del Ambiente

Un marco general a la protección de los recursos naturales, entre ellos el agua, lo da la Ley General del Ambiente sancionada en 2002. Esta Ley “*establece los presupuestos mínimos para el logro de una gestión sustentable y adecuada del ambiente, la preservación y protección de la diversidad biológica y la implementación del desarrollo sustentable*”.

Se destaca que esta Ley contempla al ambiente como “bien jurídicamente protegido” de naturaleza colectiva. Como indica Allende Rubino (2008) los bienes supraindividuales son considerados por el Derecho como bienes jurídicos protegidos, en razón de haber construido la sociedad una especial valoración en torno a los mismos, como es el caso del ambiente. Ante la tensión existente entre la protección del bien individual y de los bienes colectivos, existe primacía de la protección de los bienes colectivos, ya que sin ella “*se atenta contra la cohesión del Estado, contra la paz social, contra la existencia misma de la especie humana. Los bienes colectivos juegan de alguna manera como una limitante en función social al ejercicio de los bienes individuales*” (Allende Rubino, 2008).

En su artículo 2° la Ley 25.675 indica que la política ambiental nacional deberá cumplir un conjunto de objetivos. A continuación se enuncian aquellos relacionados a la presente investigación: asegurar la preservación, conservación, recuperación y mejoramiento de la calidad de los recursos ambientales en la realización de las diferentes actividades antrópicas; promover el mejoramiento de la calidad de vida de las generaciones presentes y futuras; fomentar la participación social en los procesos de toma de decisión; promover el uso racional y sustentable de los recursos naturales; prevenir los efectos nocivos o peligrosos que las actividades antrópicas generan sobre el ambiente para posibilitar la sustentabilidad; promover cambios en los valores y conductas sociales que posibiliten el desarrollo sustentable, a través de una educación ambiental, tanto en el sistema formal como en el no formal; organizar e integrar la información ambiental y asegurar el libre acceso de la población a la misma; establecer un sistema federal de coordinación interjurisdiccional, para la implementación de políticas ambientales de escala nacional y regional; establecer procedimientos y mecanismos adecuados para la minimización de riesgos ambientales, mitigación de emergencias ambientales y recomposición de los daños causados por la contaminación ambiental.

En su artículo 8° menciona los instrumentos de la política y gestión ambiental, entre los que incluye: el ordenamiento ambiental del territorio, la evaluación de impacto ambiental, la educación ambiental; el sistema de control sobre el desarrollo de las actividades antrópicas; el sistema de diagnóstico e información del desarrollo sustentable.

La Ley indica que el ordenamiento ambiental se realizará en forma federal y será coordinado entre los municipios y las provincias, y entre éstas y la Nación, a través del Consejo Federal de Medio

Ambiente (COFEMA). El COFEMA es un espacio de encuentro federal para abordar los problemas y las soluciones del medio ambiente de la República Argentina<sup>1</sup>.

En noviembre de 2002 esta Ley fue reglamentada mediante el Decreto presidencial 2.413, el cual especifica y modifica algunas cuestiones contenidas en la Ley, sobre todo referidas al daño ambiental.

#### Ley Nacional N° 25.688: Régimen de gestión ambiental de las aguas

Específicamente para las aguas, esta Ley sancionada en 2002 establece los presupuestos mínimos ambientales para la preservación de las aguas, su aprovechamiento y uso racional. En su artículo 4° establece la creación de comités de cuencas hídricas, para las cuencas interjurisdiccionales, “*con la misión de asesorar a la autoridad competente en materia de recursos hídricos y colaborar en la gestión ambientalmente sustentable de las cuencas hídricas*”. En el artículo 5° determina lo que se entiende por utilización del agua, especificando para las aguas subterráneas lo siguiente: colocación e introducción de sustancias en el agua subterránea; toma de aguas subterráneas, su elevación y conducción sobre tierra, así como su desviación; estancamiento, profundización y desviación de aguas subterráneas, mediante instalaciones destinadas a tal fin; las acciones que alteran permanentemente o en una medida significativa las propiedades físicas, químicas o biológicas del agua. A partir de ello, la Ley indica que se necesita permiso de la autoridad competente para utilizar las aguas.

Además, la autoridad competente tiene por obligaciones: determinar los límites máximos de contaminación aceptables para las aguas de acuerdo a distintos usos; definir las directrices para la recarga y protección de acuíferos; fijar los parámetros y estándares ambientales de calidad de las aguas.

Esta Ley se encuentra sin reglamentar.

#### Código Alimentario Argentino (CAA)

Consiste en un marco regulatorio que incluye los niveles guías de diversas sustancias biológicas, químicas y radiológicas presentes en agua. Fue puesto en vigencia en 1969 por la Ley Nacional N° 18.284 reglamentada por el Decreto 2.126/71. Se trata de un reglamento técnico en permanente actualización que establece las normas higiénico-sanitarias, bromatológicas, de calidad y genuinidad que deben cumplir las personas físicas o jurídicas, los establecimientos, y los productos que están dentro de su alcance. El objetivo principal es la protección de la salud de la población y la buena fe en las transacciones comerciales. La última actualización vigente del CAA corresponde a octubre de 2012.

El Capítulo XII del Código se refiere a “Bebidas hídricas, agua y agua gasificada”, e incluye los valores recomendados para diferentes parámetros. En el artículo N° 982 de dicho Capítulo define “*Con las denominaciones de Agua potable de suministro público y Agua potable de uso domiciliario, se entiende la que es apta para la alimentación y uso doméstico: no deberá contener sustancias*

---

<sup>1</sup> Sitio Web Consejo Federal de Medio Ambiente <http://www.cofema.gob.ar/>

o cuerpos extraños de origen biológico, orgánico, inorgánico o radiactivo en tenores tales que la hagan peligrosa para la salud. Deberá presentar sabor agradable y ser prácticamente incolora, inodora, límpida y transparente. El agua potable de uso domiciliario es el agua proveniente de un suministro público, de un pozo o de otra fuente, ubicada en los reservorios o depósitos domiciliarios”. Además indica que ambos tipos de agua potable deben cumplir con una serie de características físicas, químicas y microbiológicas detalladas en el artículo.

En la Tabla 1 se presentan aquellos parámetros y sustancias recomendados en el CAA que están vinculados con los objetivos de esta investigación.

Se observa que el CAA establece valores más rigurosos en relación a los nitratos respecto a las Guías de calidad de la OMS y la Directiva 98/83/CE antes mencionada.

En el caso particular del arsénico, hasta el año 2007 en la Argentina se establecía como valor máximo de arsénico en agua de consumo humano 0,05 mg/L. Posteriormente, se modificó dicho valor bajándolo a 0,01 mg/L. Siguiendo las recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud, se estableció un plazo hasta el año 2017 para que los entes que prestan servicios de agua de red se adapten al mismo.

Parámetro / sustancia	Valor recomendado
pH	6,5 – 8,5
Arsénico (As)	Máximo 0,01 mg/L
Cloruro (Cl)	Máximo 350 mg/L
Nitrato (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	Máximo 45 mg/L
Sulfatos (SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> )	Máximo 400 mg/L
Cloro activo residual (Cl)	Mínimo 0,2 mg/L
Bacterias mesófilas	Hasta 500 UFC/ml
Bacterias coliformes totales	Hasta 3 NMP/100 ml
<i>Escherichia coli</i>	Ausencia en 100 ml
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Ausencia en 100 ml

Tabla 1. Parámetros recomendados en el CAA para aguas de consumo humano.

#### Ley Nacional N° 25.831: Régimen de Libre Acceso a la Información Ambiental

Esta Ley fue sancionada en 2003 y establece los presupuestos mínimos de protección ambiental para garantizar el derecho de acceso a la información ambiental que se encontrare en poder del Estado en sus distintos niveles, como así también de entes autárquicos y empresas prestadoras de servicios públicos, sean públicas, privadas o mixtas. Esta Ley se encuentra subordinada a la Ley General del Ambiente antes mencionada, y define a la información ambiental como toda “aquella información en cualquier forma de expresión o soporte relacionada con el ambiente, los recursos naturales y el desarrollo sustentable”. Además, indica que el acceso a dicha información será libre y gratuito, y establece los procedimientos, plazos e infracciones relacionados.

Esta Ley se encuentra regida por el Decreto Reglamentario N° 1172 del año 2003, el cual aprueba los reglamentos de audiencias públicas, y regula sobre la elaboración participativa de normas, sobre las reuniones abiertas de entes reguladores de servicios públicos, entre otros aspectos.

#### Ley Nacional N° 26.438: Creación del Consejo Hídrico Federal

El Consejo Hídrico Federal (COHIFE) fue reconocido por Ley Nacional N° 26438, sancionada el 3 diciembre de 2008 en la Cámara de Diputados de la Nación.

La Ley en su capítulo 3° reconoce al COHIFE como instancia federal para la concertación y coordinación de la política hídrica federal y la compatibilización de las legislaciones entre las distintas jurisdicciones, respetando que el dominio originario de los recursos hídricos corresponde a las provincias.

El COHIFE constituye un nucleamiento federal conformado por el Estado Nacional, la Ciudad Autónoma de Buenos Aires y todas las provincias de la República Argentina, las cuales se dividen en seis grupos. El Comité Ejecutivo de este organismo está formado por una Secretaría General ejercida a cargo del representante de la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación y un representante de cada uno de los grupos; de estos seis integrantes surge la Presidencia. Los seis grupos que conforman al COHIFE son los Consejos Hídricos del Noroeste Argentino, del Noreste Argentino, del Litoral, de Cuyo, del Centro y de la Patagonia. La provincia de Buenos Aires forma parte del Consejo Hídrico del Centro junto a La Pampa, Córdoba y la Ciudad Autónoma de Buenos Aires.

Además, el COHIFE establece una serie de Principios Rectores de Política Hídrica que *“brindan lineamientos que permiten integrar aspectos técnicos, sociales, económicos, legales, institucionales y ambientales del agua en una gestión moderna de los recursos hídricos”*<sup>2</sup>.

Asimismo, el COHIFE interviene en los conflictos entre distintas jurisdicciones referidos a la gestión del agua y facilita la resolución de los mismos a través del funcionamiento de los Comités de Cuenca. Hasta el año 2012 se encontraban catorce Comités de Cuenca en actividad en la República Argentina. Cabe destacar que el área de estudio de la presente investigación no se encuentra actualmente incluida en los Comités de Cuenca en funcionamiento.

### **1.9.3 En la provincia de Buenos Aires**

En la provincia de Buenos Aires también existen diferentes regulaciones sobre la protección del ambiente y los recursos naturales, y algunas de ellas específicas sobre el recurso hídrico. A continuación se detallan las normativas más importantes.

---

<sup>2</sup> Sitio Web del Consejo Hídrico Federal <http://www.cohife.org.ar/>

Ley Provincial N° 5965: Protección a las fuentes de provisión y a los cursos y cuerpos receptores de agua y a la atmósfera

En primer lugar cabe citar esta ley provincial que data del año 1958. La ley contempla en su artículo 2° la prohibición del “*envío de efluentes (líquidos, sólidos o gaseosos) de cualquier origen, a la atmósfera, a canalizaciones, acequias, arroyos, riachos, ríos y a toda otra fuente, cursos o cuerpo receptor de agua, superficial o subterráneo, que signifique una degradación del aire o de las aguas de la provincia, sin previo tratamiento de depuración o neutralización que los convierta en inocuos e inofensivos para la salud de la población o que impida su efecto perjudicial en la atmósfera y la contaminación, daños y obstrucciones en las fuentes, cursos o cuerpos de agua*”.

Esta Ley se encuentra reglamentada mediante dos decretos. Por un lado, el Decreto N° 2009/1960 Protección a las fuentes de provisión y a los cursos y cuerpos receptores de agua y a la atmósfera: define términos que hacen al tema del decreto, estipula las características y condiciones para la descarga de efluentes, determina la necesidad de solicitar permisos de descarga y detalla la realización de inspecciones y toma de muestras de efluentes. Por otra parte, el Decreto N° 3970/1990 realiza una adecuación de diversos artículos de la Ley 5.965 a efectos de que resulte posible la efectiva consecución de la ley.

Constitución de la Provincia de Buenos Aires

En su artículo 28°, la Constitución provincial reformada en 1994 introduce la protección ambiental. Dicho artículo indica que “*los habitantes de la Provincia tienen el derecho a gozar de un ambiente sano y el deber de conservarlo y protegerlo en su provecho y en el de las generaciones futuras. La Provincia ejerce el dominio eminente sobre el ambiente y los recursos naturales de su territorio [...]. En materia ecológica, deberá preservar, recuperar y conservar los recursos naturales, renovables y no renovables del territorio de la Provincia; planificar el aprovechamiento racional de los mismos; controlar el impacto ambiental de todas las actividades que perjudiquen al ecosistema; promover acciones que eviten la contaminación del aire, agua y suelo; prohibir el ingreso en el territorio de residuos tóxicos o radiactivos; y garantizar el derecho a solicitar y recibir la adecuada información y a participar en la defensa del ambiente, de los recursos naturales y culturales. Asimismo, asegurará políticas de conservación y recuperación de la calidad del agua, aire y suelo compatible con la exigencia de mantener su integridad física y su capacidad productiva, y el resguardo de áreas de importancia ecológica, de la flora y la fauna. Toda persona física o jurídica cuya acción u omisión pueda degradar el ambiente está obligada a tomar todas las precauciones para evitarlo*”.

Ley Provincial N° 11.723: Ley Integral del medio ambiente y los recursos naturales

Esta Ley del año 1995, de acuerdo al artículo 28° de la Constitución provincial antes mencionado, “*tiene por objeto la protección, conservación, mejoramiento y restauración de los recursos naturales y*

*del ambiente en general en el ámbito de la Provincia de Buenos Aires, a fin de preservar la vida en su sentido más amplio; asegurando a las generaciones presentes y futuras la conservación de la calidad ambiental y la diversidad biológica”.*

La Ley indica que el Estado provincial garantiza a todos sus habitantes el derecho a gozar de un ambiente sano, el acceso a la información pública ambiental, y la participación en los procesos que se relacionen al manejo de los recursos naturales y el ambiente en general.

En su Título III, la Ley trata sobre las aguas, indicando que las políticas para la protección y manejo del agua se guiarán por una serie de principios entre los que se destacan: su tratamiento integral, participación de los usuarios, coordinación entre organismos de aplicación vinculados al recurso. En ese sentido, la Ley indica que el *“tratamiento integral del recurso deberá efectuarse teniendo en cuenta las regiones hidrográficas y/o cuencas hídricas existentes en la Provincia. A ese fin, se propicia la creación del Comité de Cuencas en los que participen el Estado Provincial, a través de las reparticiones competentes, los municipios involucrados, las entidades intermedias con asiento en la zona, y demás personas físicas o jurídicas, públicas o privadas que en cada caso se estime conveniente”.*

Esta Ley fue reglamentada mediante el Decreto N° 4371 de 1995, el que modifica algunos de los artículos y promulga la Ley.

#### Ley Provincial N° 12.257: Código de Aguas

Esta Ley, más conocida como el Código de Aguas, fue sancionada en 1999 y establece el régimen de protección, conservación y manejo del recurso hídrico de la provincia de Buenos Aires. Es un instrumento legal que tiene como objeto reglamentar, supervisar y vigilar todas las actividades y obras relativas al estudio, captación, uso, conservación y evacuación del agua. Si bien contiene numerosos aspectos relativos al recurso, en este apartado se detallan aquellos relacionados con la presente investigación.

El Código recomienda al Poder Ejecutivo la creación de la Autoridad del Agua (ADA), la cual se constituye como entidad de aplicación de las funciones encomendadas al Poder Ejecutivo. Es un ente autárquico de derecho público y naturaleza transdisciplinaria y cuya organización y funcionamiento se dispone sobre la base de la descentralización operativa y financiera<sup>3</sup>.

Para cumplir esa función, la Autoridad del Agua establecerá las especificaciones técnicas que deberán satisfacer las observaciones y mediciones, la recopilación y publicación de información hídrica, las labores, las obras y la prestación de servicios a terceros. El ADA tiene numerosas funciones y atribuciones, entre las que destacan las relacionadas a la presente investigación: formular la política del agua; decretar reservas que prohíban o limiten usos y la constitución de derechos individuales sobre agua de dominio público; establecer preferencias y prerrogativas para el uso del agua, privilegiando el

---

<sup>3</sup> Sitio Web de la Autoridad del Agua de la provincia de Buenos Aires <http://www.ada.gba.gov.ar/>

abastecimiento de agua potable; suspender el suministro de agua para aquellos casos que lo ameriten; imponer restricciones y limitaciones al dominio privado; supervisar y vigilar las actividades y obras relativas al estudio, captación, uso, conservación y evacuación del agua; promover programas de educación formal e informal sobre el uso racional del agua; coordinar un espacio interinstitucional con los órganos de la Administración Provincial competentes en materia de agua; incrementar su disponibilidad y proteger su calidad (Sitio Web ADA).

Por otra parte, el Código determina en su artículo 55° los usos especiales del recurso hídrico que se otorgarán por concesión, entre los que se destacan dos usos de interés para la presente investigación, como son el abastecimiento de agua potable y el uso agropecuario. En relación al abastecimiento de agua potable, el artículo 57° indica que *“todo habitante está obligado a usar el servicio público de abastecimiento de agua potable que la autoridad imponga para su vivienda”*. Mientras que para el uso agropecuario, el Código indica que para obtener la concesión se requiere que el terreno tenga aptitud para ser regado, que se garantice el caudal y calidad disponible en la fuente de agua para riego, y que el solicitante informe sobre el proyecto en tiempo y forma a la Autoridad.

En el Título IV del Código se incluyen las normas aplicables al agua subterránea. El artículo 83° indica que cuando las tareas impliquen la realización de perforaciones de cualquier diámetro y profundidad, ya sea para estudio o extracción de agua, se requerirá la solicitud del permiso de perforación. En este sentido, el artículo 84° plantea que ante la realización de una obra de captación de agua subterránea, deberá tenerse en cuenta que no contamine los acuíferos en forma directa o indirecta. Con respecto a las perforaciones, plantea que el ADA podrá recomendar y limitar los diámetros, profundidades, volúmenes y caudales, así como la instalación de dispositivos de medición de niveles y caudales, así como las distancias que deberán mantener respecto a otros pozos y a cuerpos de agua. Para una nueva explotación del recurso subterráneo, el ADA deberá otorgar el *permiso de perforación*, solicitando para ello un estudio hidrogeológico previo elaborado por un profesional con incumbencias en la temática. Además, el Código establece en su artículo 88° que todas las obras que puedan alterar la calidad, cantidad y dinámica del agua subterránea deberán solicitar el permiso respectivo al ADA.

El Título VI del Código aborda la preservación del recurso hídrico, y contiene en su artículo 97° la exigencia de realizar Evaluaciones de Impacto Ambiental a todas aquellas acciones que puedan generar daños sobre el agua o el ambiente. Asimismo, especifica que ante la existencia de vertidos susceptibles de impactar sobre el ambiente, el ADA deberá fijar los niveles permisibles de vuelco y solicitar estudios de impacto ambiental e hidrogeológico, e imponer el tratamiento previo de los vertidos.

La reglamentación del Código de Aguas es alcanzada a través del Decreto N° 3511 del año 2007 y del Decreto N° 429 de 2013. Específicamente para el uso de las aguas subterráneas, el Decreto N° 3511/2007 reglamenta sobre las perforaciones, los permisos para su construcción y las licencias para perforadores. Por su parte, el Decreto 429/2013 se refiere a la implementación de un canon por el uso del agua como instrumento económico para solventar los gastos de la gestión de los recursos hídricos en el

ámbito de la provincia de Buenos Aires. Cabe señalar que dicho canon se determinará en función de un conjunto de criterios, entre los que se contempla la huella hídrica generada por la producción de bienes o servicios, así como las características propias de las fuentes de agua; considerando también los tipos de usuarios y los costos que demanden la investigación hidrológica y la administración de usuarios.

#### Resoluciones de la Autoridad del Agua

Existen numerosas resoluciones del ADA, dentro de las cuales se destacan aquellas relacionadas a la presente investigación:

- Resolución N° 209 de 2004 referida a la explotación de aguas superficiales y subterráneas para riego y uso agropecuario, establece los requisitos mínimos para la autorización de obras a tal fin. En el caso de las aguas subterráneas, la Resolución establece que se requiere evaluar la afectación de la captación tanto al predio como zonas aledañas, determinar la vulnerabilidad del acuífero, explicitar el diagrama del entubamiento de la perforación y su protección sanitaria, presentar resultados de análisis físico-químicos y microbiológicos del agua, identificación de fuentes de contaminación, entre otros estudios previos.
- Resolución N° 596 de 2007 por la cual se crea el registro de empresas perforadoras y profesionales responsables de las perforaciones.
- Resolución N° 289 de 2008 que trata sobre los permisos de perforación y de obras de evacuación de excretas en suelo.
- Resolución N° 165 del año 2010 se refiere a los requisitos para el abastecimiento de agua potable mediante perforaciones individuales y el vertido de excretas.
- Resolución N° 660 de 2011 establece la creación del Banco Único de Datos de Usuarios de los Recursos Hídricos (BUDURH) para el registro de usuarios del ámbito público y privado. La Resolución considera los usos consuntivo y no consuntivo del agua. Dentro del consuntivo incluye distintos usos: uso doméstico, abastecimiento público y privado, agricultura y ganadería, minería e industria, acuicultura, generación de energía. El uso no consuntivo es mucho más abarcativo y se divide en dos grupos de usos, aquellos referidos a las necesidades del hombre (recepción de residuos en cuerpos de agua, uso productivo, recreación comunitaria, uso ritual y suntuario) y los basados en necesidades ambientales (conservación de ecosistemas, refugio de biodiversidad, reserva natural).
- Resolución N° 465 de 2013 también referida al BUDURH, indica la obligatoriedad, gratuidad, vigencia y forma de inscripción del registro de usuarios. Asimismo, detalla un listado de tipos y categorías de usuarios e indica donde debe tramitar su registro cada uno de ellos.

#### Ley Provincial N° 14.126: Paisaje Protegido de Interés Provincial

Esta Ley del año 2010 declara como Paisaje Protegido de Interés Provincial a la zona comprendida entre las Rutas Nacional N° 226 y Provinciales N° 74 y N° 30, que conforma un área denominada “la poligonal”. En dicha área queda contenida la mayor parte de la ciudad de Tandil.

Esta Ley tiene por objetivo “*conservar y preservar la integridad del paisaje geográfico, geomorfológico, turístico y urbanístico del área poligonal*”. Se encuentra regida por el Decreto Reglamentario N° 1766, del año 2010. La autoridad de aplicación es el Organismo Provincial para el Desarrollo Sostenible (OPDS) de la provincia de Buenos Aires.

#### **1.9.4 En el partido de Tandil**

A nivel municipal, existen numerosas Ordenanzas que indican las extensiones de las redes de agua y de cloacas en distintas zonas de la ciudad, barrios periféricos y parajes rurales, así como establecen los procedimientos administrativos de contratación de servicios a las empresas constructoras y perforadoras.

A modo de ejemplo, las ordenanzas 11.731 y 11.732 regulan la provisión de agua al barrio Cerro Los Leones, mientras que la 12.066 lo hace para el paraje rural De La Canal (también en el año 2010), y las ordenanzas 8.591 y 8.846 del año 2003 se refieren al abastecimiento de agua en el paraje Azucena.

Sin embargo, no existen, a la fecha de presentación de esta Tesis, ordenanzas municipales que regulen el manejo del agua en forma integral.

## **CAPÍTULO 2**

### **METODOLOGÍA**

El desarrollo de la investigación incluye la realización de actividades y la utilización de diferentes herramientas y metodologías pertenecientes a las ciencias naturales y las sociales. Esta conjunción de distintas metodologías cuali-cuantitativas tiene su base en la necesidad de abordar al ambiente como un sistema complejo (García, 2011), a través de la investigación interdisciplinaria.

La Tesis presenta un enfoque interdisciplinario considerando al recurso hídrico subterráneo como integrante del sistema ambiental, por lo cual se vuelve necesaria la utilización de diversas herramientas metodológicas para poder abordar sus distintos aspectos, especialmente en lo referido a los modos de uso y gestión del agua subterránea.

Dentro de este apartado, el primer eje se basó en la información antecedente que ha constituido la base fundamental para la realización de la presente investigación. El segundo se encarga de la descripción del área de estudio a escala del partido de Tandil, abordando tanto sus aspectos naturales como sociales más importantes. El tercer eje avanza sobre las metodologías utilizadas para describir el uso y la gestión del agua subterránea para consumo humano en distintos ámbitos, en sectores periurbanos y rurales. En este apartado se detallan las técnicas y métodos requeridos para evaluar su calidad para consumo humano y analizar la hidrodinámica subterránea en cada uno de los sectores mencionados. El cuarto contempla las metodologías necesarias para analizar el uso y la gestión del agua en dos tipos de actividades agropecuarias desarrolladas en el partido de Tandil. Por su parte, el quinto eje propone el análisis sistémico de la problemática hídrica, a partir de la integración de las variables analizadas, posibilitando la comprensión de las interrelaciones del recurso hídrico con las dimensiones sociales, económicas y político-institucionales. Incluye además la generación de pautas de gestión sustentable, basadas en el diagnóstico ambiental previamente establecido.

#### **2.1 RELEVAMIENTO DE INFORMACIÓN ANTECEDENTE**

Como primera etapa metodológica, se comenzó con la recopilación, consultas y análisis de antecedentes sobre el medio físico y los aspectos sociales vinculados al recurso hídrico.

Entre la información antecedente se contó con cartografía del partido de Tandil realizada por el Instituto Geográfico Militar entre 1954 y 1955, datos hidrometeorológicos provenientes del Servicio Meteorológico Nacional, Censos de Población, Hogares y Viviendas realizados en 2001 y 2010 y el Censo Nacional Agropecuario del 2002, ambos desarrollados por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INDEC) de Argentina.

Asimismo, se recopilaron y analizaron investigaciones previas sobre distintos aspectos del recurso hídrico, especialmente el subterráneo, enfocadas tanto a nivel local como regional.

Se relevó información sobre la actual gestión del agua y los servicios sanitarios existentes en el partido de Tandil, a nivel urbano y en asentamientos rurales, y se indagó sobre antecedentes de contaminación del recurso hídrico. En este sentido, es importante destacar que gran parte de la información antecedente relativa al agua subterránea del partido de Tandil, se origina en estudios desarrollados en el Centro de Investigaciones y Estudios Ambientales (CINEA), coordinados por el Director de esta Tesis.

Además, numerosos artículos periodísticos vinculados a la temática hidrológica han sido recabados desde el año 2008 hasta 2013.

Para realizar esta recopilación se utilizaron como fuentes de datos: una extensa bibliografía que se detalla al final de la Tesis; se obtuvieron datos de instituciones públicas como el Municipio de Tandil, Obras Sanitarias Tandil, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, entre otros; se visitaron sitios de Internet de organismos públicos y privados de alcance local, nacional e internacional.

## **2.2 CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO**

Como segunda etapa metodológica, se llevó adelante la caracterización del partido de Tandil, tanto en sus aspectos físico-naturales, con énfasis en el recurso hídrico subterráneo, como de los aspectos sociales que se vinculan a la temática bajo estudio.

### **2.2.1 Descripción del medio físico a escala regional y local**

En base a la información antecedente, se describieron las características del clima, la geología, geomorfología, edafología e hidrología del partido de Tandil. Específicamente en las cuencas del Arroyo Languyú y Chapaleofú Chico, se detalló la hidrología subterránea, enfatizando las características hidroquímicas e hidrodinámicas.

Tal como se anticipó en el apartado 1.7 Antecedentes, la cuenca del arroyo Languyú ha sido estudiada con mayor nivel de profundidad y detalle, mayormente debido a que en ella se asienta la ciudad de Tandil, donde se han realizado las perforaciones de explotación para el abastecimiento de la población.

La autora de este trabajo participó, en colaboración con otros integrantes del CINEA, en la caracterización hidrogeológica de la cuenca del arroyo Languyú. En ese sentido, se realizaron sondeos eléctricos verticales (SEV) para conocer la profundidad del basamento cristalino, utilizando la configuración de cuatro electrodos rectilíneos y simétricos mediante la disposición de Schlumberger. La información de campo fue procesada con programas computacionales específicos (Zodhy, e-lander). El

equipo utilizado fue un resistivímetro ITSSA DT48, que permitió la realización de sondeos de hasta 500 m de ala en los puntos ubicados hacia el N de la cuenca del arroyo Langueyú. Esta misma metodología fue aplicada en un sector de la cuenca del arroyo Chapaleofú, correspondiente a la localidad de Gardey.

Por otro lado, para la descripción hidrolitológica detallada en la cuenca del arroyo Langueyú, se analizaron los perfiles litológicos de las perforaciones utilizadas por Obras Sanitarias Tandil (OST) para el suministro de agua a la ciudad de Tandil.

### **2.2.2 Descripción de aspectos socioeconómicos**

Se analizaron las principales actividades económico-productivas desarrolladas en el partido de Tandil, las cuales se vinculan directamente con los recursos naturales y servicios ambientales existentes en el área de estudio. Posteriormente, se relacionaron dichas actividades con sus posibles impactos ambientales sobre el recurso subterráneo.

Para caracterizar los aspectos demográficos, se analizaron los Censos de Población, Hogares y Viviendas de 2001 y 2010 del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INDEC).

En lo que respecta a la ciudad de Tandil, se describió el sistema actual de abastecimiento de agua potable realizado por OST, perforaciones existentes, cobertura de la red, proyectos de ampliación de dicha red ejecutados y planificados en los últimos años, entre otros aspectos. Asimismo, se describe el sistema de recolección de líquidos cloacales llevado adelante también por OST, su área de cobertura, el tratamiento y disposición final de los efluentes y las obras realizadas y proyectadas recientemente.

Por otra parte, se caracterizaron los asentamientos de rango menor (ARM) del partido de Tandil, describiendo sus aspectos demográficos, abastecimiento de servicios sanitarios, y las transformaciones territoriales ocurridas en la última década.

### **2.2.3 Identificación de los actores involucrados en la gestión del agua**

Tomando como base los antecedentes sobre el manejo del recurso en la zona y en forma simultánea a la realización de entrevistas, se identificaron los actores que intervienen en los procesos de uso y gestión del agua subterránea en el partido de Tandil.

Fueron clasificados a partir de una tipología planteada por Dourejeanni (2002) especialmente para el manejo de cuencas hídricas, en la cual utiliza cuatro variables principales. Además, se tuvo en cuenta la metodología planteada por Reed *et al.* (2009) que propone realizar la diferenciación entre categorías de actores y las relaciones entre ellos. Según los autores, la identificación de participantes es un proceso iterativo, que avanza a medida que lo hace la investigación, a través de distintas herramientas como entrevistas semi-estructuradas y relevamiento de opiniones de expertos.

La primera variable que indica Dourejeanni (2002) es el nivel de gestión que los actores realizan en el área, en relación a su pertenencia. Se consideran cuatro niveles, los que deben estar articulados para que sea efectiva. Estos son el nivel científico-ambiental, formado por grupos u organismos estatales o privados dedicados a su investigación; el económico-productivo: usuarios individuales, representados por empresas, habitantes, actividades industriales, agropecuarias, u otras formas de organización que generalmente actúan en forma individual al intervenir en los sistemas hídricos compartidos; el normativo y de control que debe orientar y controlar los procesos de gestión para el manejo integrado del agua; y el político-social, que debe ser conducido por consejos, comisiones o comités de cuencas, los que tienen la responsabilidad de orientar las políticas de aprovechamiento del recurso en función de los planes nacionales o regionales de desarrollo.

La segunda variable a tener en cuenta es el carácter formal o informal, referido a la situación legal con que actúan en la cuenca o sector, relacionado al carácter legal del otorgamiento de derechos de uso de los recursos naturales, en particular del agua. En tercer lugar, el autor propone el carácter interno y externo del actor con relación al lugar donde habita y toma decisiones que afectan la dinámica del área y el uso del recurso. Y por último, el carácter público o privado.

#### **2.2.4 Realización de entrevistas a informantes calificados**

Se identificaron informantes clave, definidos por Ander Egg (1995) como “*aquellas personas poseedoras de información válida, relevante y utilizable*”, cuyo rol en la gestión del agua, así como sus conocimientos o experiencias, pudieran brindar información cuali-cuantitativa sobre las condiciones de manejo actual de los recursos hídricos en el partido de Tandil.

Como técnica para relevar dicha información, se utilizaron entrevistas. Según Ander Egg (1995) la entrevista consiste en una conversación entre al menos dos personas, en la cual interactúan el entrevistado y el entrevistador. Ambos dialogan de acuerdo a ciertos esquemas o pautas acerca de una cuestión determinada, teniendo un propósito profesional. Se optó por emplear la técnica de la entrevista no estructurada, en su modalidad no dirigida (Ander Egg, 1995), la cual permite que el entrevistado responda preguntas abiertas con total libertad, expresando sus opiniones y utilizando sus propios términos. Mientras que la función del entrevistador es generar una charla en torno a un tema relevante para la investigación.

Se recurrió a un formulario como guía para orientar cada diálogo. Las entrevistas fueron realizadas a distintos informantes clave de la gestión del agua a nivel local, entre ellos: habitantes de distintos sectores del partido de Tandil, personal directivo y técnico de organismos públicos y privados vinculados a la temática hidrológica y a la salud, profesionales, entre otros. Se consultó, en líneas generales, sobre la accesibilidad a los servicios sanitarios, así como la existencia de antecedentes de contaminación del agua y la detección de casos de enfermedades hídricas.

### **2.2.5 Análisis de los conflictos en el uso del agua**

Desde el año 2008, y durante el desarrollo de la investigación, en el partido de Tandil ocurrieron movilizaciones sociales y conflictos relacionados con el acceso y utilización de los recursos hídricos.

Para su identificación y evaluación, se realizó el análisis de fuentes secundarias disponibles en sitios de Internet y en la prensa local, tanto escrita como oral. Se caracterizaron los eventos temporal y espacialmente y se avanzó en la indagación de las acciones y estrategias desarrolladas en cada caso, el grado de organización alcanzado, el rol del Estado en sus diferentes niveles y, por último, el estado de avance o resolución del conflicto para el año 2013.

### **2.2.6 Identificación de fuentes y cargas contaminantes del agua subterránea**

A partir del conocimiento de los aspectos socio-económicos del área de estudio y su relación con las características físicas, se identificaron las principales fuentes y cargas contaminantes que afectan al sistema subterráneo. Entre ellas, se seleccionaron las más relevantes a escala del partido de Tandil y sobre las cuales se focalizará el desarrollo de la investigación y el análisis de los casos de estudio. Un insumo fundamental fue la investigación realizada por Banda Noriega *et al.* (2008), en la que participó la autora de esta Tesis.

Además, en cada uno de los sitios seleccionados, se utilizó la técnica de observación directa. Según Ander Egg (1995), la observación es un procedimiento frecuente, aunque no siempre se hace de manera metódica. Dentro de las diversas modalidades, en esta investigación se empleó la observación no estructurada. Tal técnica es una observación ordinaria, simple y libre, consiste en reconocer y anotar los hechos, objetos y situaciones relevantes a partir de guías de observación poco estructuradas. A partir de dicha técnica se registró la información de cada uno de los domicilios y establecimientos visitados, especialmente la referida a las características del entorno de las perforaciones de abastecimiento, tales como focos de contaminación, disposición de residuos, actividades desarrolladas en los alrededores, distanciamiento entre la perforación y los focos contaminantes, entre otras.

## **2.3 EVALUACIÓN DEL USO Y LA GESTIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA PARA CONSUMO HUMANO**

En este apartado se presentan las distintas metodologías utilizadas para analizar y evaluar las condiciones de explotación, apropiación y uso del agua subterránea para uso domiciliario en sectores de interés dentro del partido de Tandil.

### **2.3.1 Selección de casos de estudio**

A partir de la caracterización del área de estudio y sus aspectos vinculados a los recursos hídricos, se seleccionaron dos sectores ubicados en la periferia de la ciudad de Tandil y otros dos correspondientes a localidades rurales. Dichos sectores constituyen casos de estudio sobre los que se focalizó la investigación sobre el uso y gestión del agua subterránea. El interés en los mismos se debe a la ausencia o cobertura parcial de los servicios sanitarios básicos, sumado a la existencia de antecedentes sobre contaminación, a la preocupación por parte de los habitantes debido a su calidad y disponibilidad, y a la generación de conflictos y movilizaciones sociales en torno a la temática.

Estos sectores incluyen:

- Localidades rurales:
  - María Ignacia (Estación Vela)
  - Gardey
- Barrios periféricos:
  - zona Avenida Don Bosco
  - barrio Cerro Los Leones

Aunque el caso de estudio del barrio Cerro Los Leones ya fue tratado en la Tesis de Maestría (Rodríguez, 2010), en la Tesis Doctoral sólo se retomarán algunos de los aspectos más relevantes abordados previamente y específicamente se presentará el conflicto por el acceso al recurso allí sucedido y cómo se llegó a la resolución del mismo.

### **2.3.2 Caracterización de los modos de uso y gestión del agua**

Utilizando la técnica de observación directa antes mencionada, se efectuaron recorridos por los distintos sectores de estudio seleccionados. En cada uno de ellos se relevaron las perforaciones existentes y se registraron las condiciones del entorno de cada una, especialmente la existencia de focos contaminantes del agua subterránea en sus cercanías y el distanciamiento entre las perforaciones de abastecimiento y los sitios de disposición de efluentes. Se elaboraron y utilizaron planillas de campo, cuyo modelo se presenta en el Anexo I y se registraron imágenes mediante el uso de una cámara fotográfica digital.

También se registraron las condiciones de vida de la población, tipos de construcciones de las viviendas, sistemas de distribución y almacenamiento del agua, características de los sistemas de disposición de efluentes, existencia de piletas de natación, presencia de algún equipamiento o actividad que requiera agua en su funcionamiento. Se relevaron las actividades desarrolladas en cada zona, para poder identificar los principales usos del suelo.

Estas observaciones y registros fueron fundamentales para poder caracterizar los modos de uso y gestión domiciliaria del agua subterránea.

### **2.3.3 Realización de cuestionarios a los habitantes**

Se realizaron cuestionarios a los habitantes de cada sector de estudio en ocasión de los censos de perforaciones y muestreos de agua, sobre las condiciones de explotación y uso del recurso.

El cuestionario (ver Anexo II) fue diseñado conteniendo preguntas abiertas y cerradas (Ander Egg, 1995). El mismo constituye una nueva versión, más breve, del formulario diseñado por Rodríguez (2010) que fuera probado y aplicado en el barrio Cerro Los Leones.

Se considera que muchas prácticas y modos de uso del agua se encuentran guiadas por conocimientos y experiencias cotidianas, lo que Ander Egg (1995) denomina “*saber cotidiano*”. Estos cuestionarios intentaron relevar dicho saber en relación a la apropiación y uso del recurso. Asimismo, se interrogó sobre: las características técnicas de las perforaciones, bombas y sistemas de disposición de efluentes; almacenamiento y distribución el agua en las viviendas; fuentes de obtención y sus usos; análisis previos de calidad; antecedentes de enfermedades hídricas; estrategias de desinfección y saneamiento; problemas de desmoronamiento de las perforaciones o colmatación de pozos absorbentes; entre otros.

### **2.3.4 Análisis de los cambios de usos del suelo y su relación con la gestión del agua**

En el paraje rural Gardey y el barrio periurbano Don Bosco se realizó el relevamiento de los usos del suelo presentes y se evaluaron las transformaciones ocurridas en la última década.

La selección de estos sitios se debió a que, según trabajos antecedentes, han atravesado importantes transformaciones en la ocupación y utilización de las tierras (Miranda del Fresno y Ulberich, 2010; Jacinto, 2011), las que potencialmente pueden tener impactos sobre el agua subterránea, afectando su calidad o disponibilidad para otros usos.

Para ello, se describió, a partir de técnicas fotocartográficas y trabajo de campo, el uso del suelo en el período 2002-2012 en Gardey y 2003-2013 en Don Bosco. La elección de los años de inicio del período (2002 y 2003, respectivamente) se debió a la disponibilidad de imágenes satelitales de cada sector de estudio.

Los materiales foto-cartográficos utilizados para el relevamiento fueron: cartas topográficas Hoja 3760-23-3 “Gardey” y Hoja 3760-29-2 “Sierra del Tandil”, ambas de escala 1:50.000 realizadas por IGM (1955); plano urbano de la ciudad de Tandil escala 1:28.700; imágenes satelitales Google Earth-Digital Globe.

El uso y la cobertura del suelo se analizaron a partir de cartas temáticas realizadas sobre imágenes satelitales y mediante trabajo de campo en ambos sectores de estudio.

Se efectuaron dos mapeos, el primero corresponde al inicio de la década analizada a partir de imágenes satelitales de 2002 para Gardey y 2003 para Don Bosco y se corroboró con consultas a los habitantes de cada zona. Mientras que el segundo se confeccionó sobre imágenes satelitales de 2012 y 2013, respectivamente, y trabajo de campo. Se adaptaron las categorías de la clasificación desarrollada por Anderson *et al.* (1976), reemplazándose el código numérico por colores para identificar y delimitar geográficamente los distintos usos del suelo en los diferentes mapeos.

Se determinaron las principales variaciones de los usos del suelo ocurridas en el lapso estudiado, permitiendo establecer las transformaciones territoriales en ambos sectores y sus posibles impactos sobre el recurso hídrico subterráneo.

### **2.3.5 Caracterización de la hidrodinámica subterránea**

Para caracterizar la hidrodinámica subterránea en cada sector de estudio, se realizaron censos de perforaciones entre los años 2007 y 2013. En cada uno se efectuó en primer lugar un censo preliminar, mediante la búsqueda de perforaciones existentes y se verificó la posibilidad de medición del nivel estático. Cada una fue georreferenciada mediante el uso de un Sistema de Posicionamiento Global (GPS).

Posteriormente, en cada sector de estudio se seleccionaron perforaciones homogéneamente distribuidas, y se relevaron sus características de diseño y construcción, para cuyo registro se utilizó la planilla de campo antes mencionada (Anexo I).

En cada perforación, se midió la profundidad del nivel freático a través del uso de una sonda hidrométrica. La determinación del nivel piezométrico o de energía en relación al del mar, se llevó a cabo considerando la profundidad freática medida en el campo, y la cota topográfica del sitio donde se ubica la perforación, obtenida de las cartas topográficas de cada zona, entre las que se incluyen: Hoja 3760-23-4 “Tandil”; Hoja 3760-23-3 “Gardey”; Hoja 3760-29-2 “Sierra del Tandil”; Hoja 3760-28-2 “María Ignacia” (IGM, 1955).

El cálculo consistió en la diferencia entre la cota topográfica ( $z$ ) y la profundidad del nivel freático ( $h$ ), de la cual se obtiene el nivel estático ( $H$ ). En las perforaciones con brocal, construcción o bomba en superficie, se consideró la altura de la boca de pozo ( $h_{bp}$ ).

Este procedimiento de medición se realizó en diferentes estaciones del año y fue reiterado entre tres y cinco veces en cada sitio de muestreo. Se pudo conocer el espesor de la zona no saturada y, una vez calculados los niveles piezométricos, se construyeron mapas equipotenciales para las distintas fechas y para cada sector de estudio. Estos mapas permitieron conocer el sentido de escurrimiento subterráneo local y las variaciones temporales de la superficie freática. Dicha cartografía fue elaborada a través del software Surfer 8.

El estudio hidrodinámico realizado en cada sector fue analizado teniendo en cuenta la información hidrodinámica antecedente a nivel regional correspondiente a las cuencas de los arroyos Langueyú y Chapaleofú, previamente citada en el Capítulo 1. En ambos casos, los antecedentes principales han sido generados en el ámbito del Centro de Investigaciones y Estudios Ambientales, lugar en el que se desarrolló la presente investigación y con la participación del Director de esta Tesis.

### **2.3.6 Evaluación de la calidad del agua para consumo humano**

Se realizó una evaluación detallada de las características del recurso en las áreas seleccionadas, mediante la toma secuencial y análisis de muestras de agua subterránea en los sitios elegidos para los censos de perforaciones entre los años 2007 y 2013.

Por un lado, se realizaron análisis fisicoquímicos. Para la toma de muestra, se utilizaron recipientes plásticos limpios de 1 litro. Se determinó la conductividad eléctrica (CE) *in situ* con un Conductímetro marca Hanna modelo HI 9812. Las muestras fueron conservadas en frío hasta el laboratorio.

La frecuencia de toma y análisis físico-químico de muestras coincidió con las fechas de los censos hidrométricos, con el objetivo de conocer las variaciones y las relaciones entre las condiciones químicas y dinámicas.

La autora de la Tesis efectuó la determinación de los iones mayoritarios y las concentraciones de nitratos en el Laboratorio de Análisis Bioquímicos y de Minerales (LAByM) del Departamento de Fisiopatología, Facultad de Ciencias Veterinarias – UNICEN, bajo la dirección del Dr. Miguel Ángel Quiroga y el Méd. Vet. Roberto D. Landa.

Se determinaron los cationes sodio, calcio, magnesio y potasio por espectrometría de absorción atómica. Con respecto a los aniones, se analizaron las concentraciones de bicarbonatos mediante titulación, cloruros por argentometría y sulfatos por turbidimetría. Además, se incluyó la medición de nitratos, con el método espectrométrico ultravioleta selectivo, ya que este compuesto puede incrementarse significativamente por contaminación antrópica.

Para la determinación de los cationes se elaboraron estándares para cada elemento medido y se diluyeron las muestras con agua bidestilada para sodio y potasio y con cloruro de lantano para calcio y magnesio. Se realizó la lectura de absorbancia de muestras y estándares en el equipo de absorción atómica y se determinaron las concentraciones de cada elemento en las muestras mediante una curva de calibración.

El método de titulación utilizado para bicarbonatos consiste en el agregado de fenoftaleína, para detectar la presencia de carbonatos, y posteriormente naranja de metilo a 10 ml de muestra de agua en agitación constante. Luego se titula con ácido clorhídrico hasta que se produzca el viraje de la muestra al color naranja-rosado. El volumen de ácido clorhídrico consumido se utiliza para calcular la alcalinidad total y se ajusta por un coeficiente para convertir en bicarbonatos.

Para determinar los cloruros presentes en agua, el método argentométrico consiste en el agregado de cromato de potasio a 50 ml de muestra en agitación constante. Posteriormente se titula con nitrato de plata hasta que se produzca el viraje de la muestra al color amarillo rosado. A partir del volumen de nitrato de plata consumido se calculan la concentración de cloruros.

Los sulfatos, por su parte, fueron determinados a partir de 5 ml de muestra con el agregado de solución ácida acondicionadora y cloruro de bario. Tanto las muestras como los estándares se midieron en el espectrofotómetro UV con una longitud de onda de 420 nanómetros. A partir de la absorbancia leída y la elaboración de una curva de calibración se calcularon las concentraciones de sulfatos.

En el caso de los nitratos, se prepararon estándares y se diluyeron las muestras con agua bidestilada, que posteriormente fueron medidos en el espectrofotómetro UV a longitudes de onda 220 y 275 nanómetros. Se elaboró la curva de calibración y con las absorbancias medidas se calcularon las concentraciones de nitratos.

Todas las determinaciones se realizaron según los métodos normalizados de la APHA (2005) que se detallan en la Tabla 2.

Iones	Métodos
Calcio, sodio, magnesio y potasio	SM 3111 B Espectrometría de absorción atómica de llama
Bicarbonato	SM 2320 B Alcalinidad por método de titulación
Cloruro	SM 4500 Cl <sup>-</sup> B Método argentométrico
Sulfato	SM 4500 SO <sub>4</sub> <sup>=</sup> B Método turbidimétrico
Nitrato	SM 4500 NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> B Método espectrométrico ultravioleta selectivo

Tabla 2. Métodos normalizados utilizados para los análisis químicos.

Para posibilitar la interpretación de los resultados y evaluar su relación con la hidrodinámica subterránea, se construyeron mapas con curvas de isoconductividad e isoconcentraciones de nitratos mediante el software Surfer 8.

Las concentraciones iónicas se compararon con datos antecedentes regionales y además con los valores establecidos en el Código Alimentario Argentino (Tabla 1, apartado 1.9 Marco legal) para determinar su potabilidad para agua de consumo humano.

Asimismo, se confeccionaron esquemas de representación de análisis químicos en Diagramas de Piper y de Schoeller.

Por otro lado, en cada uno de los sectores de trabajo, se tomaron muestras para el análisis microbiológico con el objetivo de complementar la información química con parámetros de calidad bacteriológica.

Las muestras fueron tomadas en las perforaciones seleccionadas y se colectaron en recipientes estériles de 250 ml y con envoltura externa. Se seleccionaron las canillas conectadas directamente a las

perforaciones, para conocer la calidad del agua tal como se extrae de la perforación, sin ser afectada por problemas sanitarios de tanques y cañerías. Se limpiaron las bocas de las canillas y se esterilizaron mediante un hisopo embebido con alcohol y encendido, para finalmente llenar el envase estéril.

Posteriormente la autora realizó los análisis en el Laboratorio de Microbiología de los Alimentos, de la Facultad de Ciencias Veterinarias – UNICEN, bajo la dirección de la Médica Veterinaria Anahí Tabera.

Se analizaron los microorganismos indicadores estipulados por el Código Alimentario Argentino (CAA) que, en su artículo 982, determina los siguientes niveles permisibles en agua para consumo humano:

- bacterias aeróbicas mesófilas: hasta 500 UFC/ml (UFC: Unidades formadoras de colonias)
- coliformes totales: hasta 3 bacterias/100 ml
- *Escherichia coli*: ausencia de esta bacteria, en 100 ml de muestra
- *Pseudomonas aeruginosa*: ausencia de esta bacteria, en 100 ml de muestra

El número de bacterias aeróbicas mesófilas se determinó por el método de recuento en placa. Para ello se hicieron diluciones de las muestras en agua peptonada estéril y se sembraron en profundidad, en medio de cultivo Agar Plate Count. Se incubó en estufa durante 24 horas a 37 °C, luego de lo cual se realizó el recuento de UFC/ml.

El número más probable (NMP) de bacterias coliformes totales en 100 ml se determinó a través de la siembra por triplicado en tubos con caldo Mac Conkey con diferentes concentraciones y volúmenes de muestra, incubados en estufa a 37 °C por 48 horas. Posteriormente se realizó el recuento de tubos positivos y, a través de la tabla de Hoskins, se determinó el NMP/100 ml.

Por su parte, *Escherichia coli* fue aislada y sembrada por estrías en superficie en agar Eosina azul de metileno (EMB), a 37 °C durante 24 a 48 horas. Ante la presencia de esta bacteria se observó el crecimiento de color verde metálico.

*Pseudomonas aeruginosa* fue aislada, a partir de tubos de Mc Conkey con desarrollo de velo, y sembrada en superficie en placas con Agar Cetrímide incubándose a 37 °C entre 24 y 48 horas. La presencia de la bacteria, se observó mediante el crecimiento de color verde-amarillento.

Además, se decidió incorporar la determinación de enterococos y esporas de clostridios sulfito reductores. La investigación de enterococos reviste interés debido a la posible contaminación de origen fecal animal y porque constituyen organismos altamente resistentes a los tratamientos de desinfección de las aguas. Además, su presencia está relacionada con la existencia de ciertos parásitos (*Cryptosporidium*) en aguas.

Para determinar los enterococos, en primer lugar se efectuó un ensayo presuntivo, incubando a 35 °C por 48 horas en caldo azida glucosa. A partir de los tubos positivos, con presencia de turbidez en el caldo, se realizó el ensayo confirmatorio aislando los microorganismos en caldo azida púrpura de

bromocresol e incubándolo a 35 °C por 48 horas. Se determinó la presencia mediante el viraje de color a amarillo y la existencia de turbidez.

Por otra parte, la búsqueda de microorganismos del género *Clostridium* está fundamentada en que son bacterias esporuladas que sobreviven en condiciones adversas del ambiente y pueden persistir en el agua por largo tiempo. Son considerados indicadores de la calidad del recurso, cuya aparición se asocia a contaminación fecal y que puede estar presente desde hace mucho tiempo. Además, al igual que los enterococos son resistentes a la desinfección (Gesche *et al.*, 2003). Para su determinación se efectuó un ensayo en caldo diferencial para clostridios (DRCM), cubriendo los tubos sembrados con vaselina líquida para lograr la anaerobiosis. Luego los tubos sembrados fueron sometidos a un calentamiento por 15 minutos a 75 °C con la finalidad de destruir las formas bacterianas vegetativas presentes en las muestras. Posteriormente se incubó a 37 °C por 48 horas. Se consideraron positivos aquellos que presentaron coloración negra, dada por la precipitación de sulfuro de hierro.

El resumen de los métodos utilizados se detalla en la Tabla 3, donde la mayoría corresponden a APHA (2005), con excepción de la técnica de esporas de clostridios que pertenece a una norma de International Standard Organization (ISO, 1986).

Microorganismos	Métodos
Bacterias aeróbicas mesófilas	SM 9215 B Recuento heterótrofo de placa. Método de placa fluida
Coliformes totales	SM 9221 B Fermentación en tubos múltiples (NMP) de coliformes totales
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	SM 9213 F Técnica de tubos múltiples para <i>Pseudomonas aeruginosa</i>
<i>Escherichia coli</i>	SM 9221 F Fermentación en tubos múltiples
Enterococos	SM 9230 B Técnica de tubos múltiples para enterococos fecales
Clostridios sulfito reductores	ISO 6461-1

Tabla 3. Métodos normalizados utilizados para los análisis microbiológicos.

La frecuencia de muestreos de agua para análisis microbiológicos fue menor a la aplicada en los análisis físico-químicos, realizándose dos campañas por cada sitio de muestreo.

En aquellos sitios conectados a las redes de abastecimiento que reciben el proceso de cloración, se hizo además la determinación de cloro residual, a través de la técnica colorimétrica.

Todos los resultados se compararon con los parámetros recomendados en la legislación argentina (CAA), enunciados en la Tabla 1 (Apartado 1.9 Marco legal)

## **2.4 EVALUACIÓN DEL USO Y LA GESTIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA EN ACTIVIDADES AGROPECUARIAS**

Si bien esta Tesis pone énfasis en la gestión del agua para uso domiciliario, también se consideró importante involucrar su utilización en las actividades agropecuarias del ámbito rural. En ese sentido, y dada la diversidad de las actividades productivas locales, se ha creído conveniente por su impacto e importancia en Tandil, analizar el uso y manejo del recurso en dos actividades representativas como la producción tambera y el cultivo de papa bajo riego.

### **2.4.1 Análisis del uso del agua subterránea para riego en el cultivo de papa**

Tomando como base el antecedente de la Tesis de Licenciatura de la autora de esta investigación (Rodríguez, 2005), se analizó el uso del recurso subterráneo para la aplicación de riego complementario en el cultivo de papa en el partido de Tandil. En dicho estudio, se determinaron las necesidades de riego del cultivo de papa y la eficiencia en el uso de agua por parte de los productores locales.

Se realizaron entrevistas a productores y profesionales vinculados a la actividad. Se indagó sobre la superficie cultivada en la campaña 2011-2012, la productividad obtenida en el mismo período, y los principales mercados del cultivo. Asimismo, se los interrogó sobre el modo de uso del agua, específicamente los sistemas de riego utilizados, la metodología de aplicación (frecuencia y número de riegos), la existencia de algún tipo de equipamiento o asesoramiento para evaluar y decidir cómo realizar la aplicación de riego, entre otras.

Se relevó información sobre la temática en la prensa local, debido a la existencia de artículos periodísticos que daban cuenta de la preocupación por parte de diversos actores y sectores sociales sobre el elevado consumo de agua para esta actividad. Además, se analizó la existencia de legislación sobre la construcción de perforaciones para riego, acorde a lo planteado en el apartado 1.9 Marco legal, y la aplicación de esas regulaciones y controles en la práctica.

A partir del relevamiento de información y las entrevistas, se evaluó el uso del agua en la producción de papa bajo riego en el partido de Tandil.

Por otra parte, los datos recabados permitieron efectuar la estimación de la huella hídrica (HH) que constituye un indicador utilizado a nivel internacional para conocer la apropiación del agua dulce que expresa el volumen utilizado por tonelada de producto ( $m^3/t$ ). Para conocer la HH es necesario evaluar el agua virtual contenida en un cultivo dado, y en este trabajo se calculó para el cultivo de papa desarrollado en el partido de Tandil.

Para ello se utilizó la metodología propuesta por Chapagain y Orr (2009), en la que plantean que el agua virtual contenida en un cultivo (AVC<sub>c</sub>), en  $m^3/t$ , se calcula como la relación entre el volumen usado para la producción del cultivo (UAc) en  $m^3/ha$  y el volumen de cultivo producido (Pc) en t/ha.

$$\text{Entonces: } AVc \text{ (m}^3\text{/t)} = UAc \text{ (m}^3\text{/ha)} / Pc \text{ (t/ha)}$$

Por otro parte, el volumen de agua usado en la producción del cultivo (UAc) está compuesto de dos partes: una de ellas es el volumen evaporado durante la producción (UAevaporación) y la otra es el volumen no disponible para otros usos como resultado de la contaminación generada por la aplicación de fertilizantes o agroquímicos sobre la tierra cultivada (UAno-evaporativo).

$$\text{Entonces: } UAc \text{ (m}^3\text{/ha)} = UAevaporación + UAno-evaporativo$$

El agua evaporada a su vez está formada por dos componentes, una de ellas se la conoce como “uso del agua verde” (UVerde), y equivale a la evaporación de las precipitaciones caídas sobre la superficie cultivada. El otro componente es el “uso del agua azul” (UAazul) que consiste en la evaporación del riego aplicada sobre la superficie cultivada.

$$\text{Entonces: } UAevaporación \text{ (m}^3\text{/ha)} = UVerde + UAazul$$

Chapagain y Orr (2009) indican que para calcular el “uso del agua verde” se deben conocer parámetros climáticos, como las precipitaciones y la evapotranspiración real, y otros datos propios del cultivo, como los requerimientos de evaporación del mismo. Esos datos deben ser considerados para todo el período del cultivo, obteniendo el valor de UVerde, y posteriormente se lo relaciona con el rendimiento obtenido en t/ha (Pc) para determinar el agua virtual contenida “verde” (AVCverde).

Por otra parte, para calcular el “uso del agua azul” se requiere conocer el volumen aplicado en el riego y la eficiencia del sistema de riego utilizado. Del mismo modo que para el agua “verde”, este volumen debe ser estimado para todo el período de tiempo en el que transcurre la producción del cultivo, obteniendo el valor de UAazul, y finalmente se lo relaciona con el rendimiento del cultivo (Pc) y se determina el agua virtual contenida “azul” (AVCazul).

Por último, el volumen de recurso contaminado por medio de agroquímicos y fertilizantes (UAno-evaporativo), se denomina también “uso del agua gris” (UAggris). Chapagain y Orr (2009) plantean cómo estimar el agua virtual contenida “gris” a partir del ingreso de nitrógeno como fertilizante. Proponen utilizar como indicador el valor de referencia de nitratos en agua de 45 mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/L, que equivale a 10 mg N/L, y calcular qué volumen se necesita para diluir la contaminación generada por la aplicación de fertilizantes nitrogenados por debajo del nivel permisible para el consumo humano. En esta investigación se utilizó la aplicación de la urea comercial, principal fertilizante nitrogenado aplicado al cultivo de papa, para la estimación del agua virtual “gris”, teniendo en cuenta que es una simplificación, debido a que considera sólo uno de los agroquímicos utilizados y además se evalúan los procesos hidroquímicos que pueden suceder en las zonas no saturada y saturada.

Finalmente, mediante la sumatoria del agua virtual “verde”, “azul” y “gris” se estimó el indicador de la huella hídrica (HH), medido en m<sup>3</sup>/t.

## **2.4.2 Análisis del manejo del agua subterránea en tambos**

Se visitaron durante el año 2009 quince establecimientos lecheros, de los cuales trece están localizados en el partido de Tandil y dos muy cercanos al mismo dentro del partido de Lobería. En cada sitio, se recurrió a la técnica de observación directa, mencionada en el apartado 2.2.3, complementaria al registro fotográfico, para determinar las características de las perforaciones y los sistemas de vertido y tratamiento de efluentes, así como la existencia de distintos focos contaminantes.

En cada perforación se midió la profundidad del nivel estático a través de la metodología explicada en el ítem 2.2.5, con el objetivo de conocer el espesor de la zona no saturada.

Simultáneamente, se tomaron muestras de agua en cada perforación, en las que se midieron pH y CE *in situ*. En el LAByM, la autora realizó las determinaciones de los iones mayoritarios y las concentraciones de nitratos. Para el muestreo, medición de parámetros *in situ* y determinaciones de laboratorio, se utilizaron los materiales y métodos normalizados indicados en el apartado 2.2.6.

Los iones nitrato y cloruro revisten especial interés ante la probable contaminación del acuífero debida a la generación y disposición de excrementos de origen animal propios de la actividad lechera, y la potencial interconexión de los sitios de vertido de efluentes y los pozos de extracción de agua.

Asimismo, se efectuaron cuestionarios a los encargados, propietarios y médicos veterinarios de los tambos, sobre: funcionamiento de la actividad, principales usos del recurso, fuente y calidad del agua para consumo humano y animal, características del sistema de extracción, estimaciones de consumo, generación de efluentes, modos de disposición y tratamiento de dichos efluentes, entre otros. El cuestionario se presenta en el Anexo III y fue diseñado conteniendo preguntas abiertas y cerradas, siguiendo las pautas de Ander Egg (1995).

Estas actividades y metodologías permitieron evaluar el uso y gestión del agua en tambos del partido de Tandil y sus posibles efectos sobre el recurso hídrico subterráneo.

## **2.5 ENFOQUE SISTÉMICO Y ELABORACIÓN DE PAUTAS DE GESTIÓN SUSTENTABLE**

### **2.5.1 Análisis sistémico**

Se realizó el análisis sistémico de toda la información cualitativa y cuantitativa recabada en la investigación correspondiente a los subsistemas natural, especialmente el recurso hídrico subterráneo, y el social. Este tipo de enfoque requiere una serie de etapas metodológicas que, según García (2011), comprenden el análisis de las interacciones entre los subsistemas natural y social, así como la evaluación de los procesos de cambio existentes en un subsistema que puedan afectar al otro. Dicho análisis permite

conocer la evolución del sistema ambiental, sus características y su nueva estructura, debido a las transformaciones ocurridas en cada subsistema.

Esta tarea integradora es compleja, debido a la existencia de interacciones entre procesos de distinta índole, con dinámicas diversas y con diferentes escalas temporales de desarrollo.

El enfoque sistémico sentará las bases para la generación de recomendaciones y pautas de gestión necesarias para modificar el contexto de la problemática hídrica local y posibilitar el funcionamiento sustentable del sistema ambiental.

### **2.5.2 Análisis DAFO sobre la gestión del agua subterránea**

Con el objetivo de analizar integralmente la información recabada, se utilizó la metodología DAFO para la determinación de los puntos fuertes y débiles de la gestión del recurso hídrico subterráneo en el partido de Tandil.

Según Pujadas y Font (1998), para realizar la planificación territorial en primer lugar se deben detectar los puntos fuertes y los débiles del territorio bajo estudio. Para efectuar la integración de dichos puntos detectados en el diagnóstico, los autores proponen el análisis DAFO, cuya sigla proviene de Debilidades, Amenazas, Fortalezas y Oportunidades. Se elabora una matriz que conjuga, por un lado, las fortalezas y debilidades internas del sistema ambiental bajo estudio y, por otro, los condicionantes y tendencias del entorno exterior, que incluyen oportunidades y amenazas. Este segundo grupo incluye aspectos coyunturales y cambiantes que pueden influir positivamente o negativamente en el sistema ambiental (Orozco Hernández y Peña Manjarrez, 2004).

Este tipo de análisis permite detectar las oportunidades que son aprovechables, las debilidades que deben superarse, y las amenazas que pueden ser contrarrestables (Pujadas y Font, 1998). En ese sentido, la integración generada por esta metodología resulta útil para el diseño de indicadores de seguimiento y facilita la identificación y elaboración de estrategias y pautas de gestión sostenible, tendientes a aprovechar las potencialidades y minimizar las vulnerabilidades.

### **2.5.3 Aplicación y análisis de indicadores de sustentabilidad ambiental**

En este apartado se proponen una serie de indicadores de sustentabilidad ambiental útiles para la evaluación y el monitoreo de la gestión del agua subterránea en el partido de Tandil. Se tendrán en cuenta aspectos naturales y sociales y sus interrelaciones, y se utilizarán variables cualitativas y cuantitativas para la construcción de los indicadores.

Por un lado, dentro de las metodologías para la elaboración y propuesta de indicadores, se aplicará el modelo PER (Presión-Estado-Respuesta) propuesto por la OCDE (2003). En este modelo, los indicadores de Presión describen las intervenciones directas e indirectas que las actividades humanas

ejercen sobre el ambiente, que resultan en la afectación de la calidad y cantidad de recursos naturales (Estado). Los indicadores de respuesta se refieren a las medidas con las que la sociedad responde a estos cambios a través de políticas ambientales, económicas y sectoriales y a través de cambios en la conciencia y comportamiento (respuesta social). Además, el modelo PER resalta las relaciones de causa-efecto, y ayuda a los tomadores de decisiones y a toda la sociedad a ver al ambiente, la economía y otros problemas/asuntos como interconectados. El modelo PER tiene la ventaja de ser uno de los enfoques más fáciles de entender y utilizar. Sin embargo, no debe esconder la visión de las complejas relaciones existentes en los ecosistemas y las interacciones del ambiente con la economía y la sociedad (OCDE, 2003).

Para la correcta definición de cada indicador, se siguieron los lineamientos establecidos por Guerrero *et al.* (2007), especificando: tipo de indicador, descripción, variable a medir y frecuencia de monitoreo propuesta.

Por otro lado, se aplicó y calculó el Índice GSII propuesto por Pandey *et al.* (2011), cuya sigla deriva de su nombre en inglés *Groundwater Sustainability Infrastructure Index*, que se traduce como Índice de Infraestructura para la Sostenibilidad del Agua subterránea. Dichos autores plantean que el término infraestructura se refiere a la existencia de conocimientos, prácticas e instituciones cuyo adecuado fortalecimiento ayuda a lograr la sustentabilidad del recurso.

El índice está formado por cinco componentes, los que se desagregan en 16 indicadores. Los componentes engloban las dimensiones que constituyen al sistema ambiental: el monitoreo de las aguas subterráneas (componente natural); la participación pública (componente social); las intervenciones regulatorias (componente económico); la responsabilidad institucional; y la generación y divulgación del conocimiento. Este último es incorporado teniendo en cuenta que la gestión adecuada del recurso requiere un grado importante de confianza entre los actores, el cual puede ser fortalecido a través de la generación de información y su divulgación de modo transparente (Pandey *et al.*, 2011).

Para el cálculo del GSII, se atribuyeron pesos iguales a los indicadores y componentes y se empleó un índice formado por la suma de todos los componentes ponderados:

$$GSII = \frac{\sum w_i X_i}{\sum w_i}$$

Donde:

$w_i$  = el peso de cada componente

$X_i$  = el valor dado a cada componente. Este valor puede variar entre 0 y 1. El valor cero equivale a la peor situación, y 1 a la mejor, en ambos casos en relación a la sustentabilidad del agua.

Una vez efectuada la sumatoria, Pandey *et al.* (2011) plantean una escala para la interpretación del índice GSII, que varía de 0 a 1 de la siguiente manera: 0 = Muy pobre; 0,25 = Pobre; 0,5 = Adecuado; 0,75 = Bien; 1 = Excelente.

Por otra parte, como se comentó en el apartado 2.4.3, se propone la utilización del indicador de huella hídrica y se lo calculó para el cultivo de papa bajo riego desarrollado en el partido de Tandil.

#### **2.5.4 Realización de actividades de educación ambiental y transferencia**

Se generaron y pusieron en práctica propuestas de educación ambiental y actividades de transferencia, con el propósito de contribuir a la gestión sustentable del recurso hídrico subterráneo.

Estas actividades se llevaron a cabo en ámbitos educativos formales y no formales. Dentro de las primeras, se desarrollaron talleres y charlas en los establecimientos educativos de los sitios de trabajo, en forma de encuentros con los alumnos y docentes de distintos niveles. En el ámbito no formal, se trabajó con los habitantes de las viviendas donde se realizaron los censos de perforaciones y toma de muestras, acercando los resultados de los análisis de calidad.

El desarrollo de estas tareas permitió comprender la percepción social sobre el uso y manejo del agua y ajustar la propuesta de medidas acorde a la realidad política-institucional y socio-económica.

#### **2.5.5 Propuesta de estrategias para la gestión sustentable del agua**

Como última etapa metodológica, y tomando como insumo toda la información relevada y generada en la investigación sobre los aspectos naturales y sociales del manejo del agua subterránea en el partido de Tandil, se propusieron estrategias para la gestión sustentable del recurso, acordes al enfoque de la GIRH.

Estas pautas tienen como propósito contribuir a la toma de decisiones sobre la temática, al mejoramiento de la calidad de vida de la población, y al mantenimiento y preservación de la calidad del recurso hídrico en la región. Las mismas incluyeron distintos tipos, tales como medidas referidas a la gobernanza del agua, la organización a nivel de cuencas y el monitoreo de información hidrológica. También se incluyeron pautas de planificación con participación de los actores involucrados, y de educación y transferencia de la información referida al recurso. Asimismo, se plantearon medidas estructurales o técnicas y se consideraron instrumentos económicos de manejo.

Las propuestas se basaron en estrategias generales contenidas en la bibliografía, ajustadas a la realidad local, incluyendo tanto las características del medio físico-natural, como las condiciones socioeconómicas y político-institucionales.

## CAPÍTULO 3

### ÁREA DE ESTUDIO

En este capítulo se describe el área de estudio, tanto sus aspectos naturales como sociales. En primer lugar, se analiza el medio físico, en cuanto a sus cualidades climáticas, geológicas, geomorfológicas, hidrológicas y edáficas. Seguidamente, se abordan los aspectos socioeconómicos más importantes del partido de Tandil. En tercer lugar, se detallan las características hidrogeológicas de las cuencas de los arroyos Languyú y Chapaleofú, principalmente sus aspectos hidrodinámicos e hidroquímicos. A partir de dicha caracterización se localizan los sitios periurbanos y rurales seleccionados para la presente investigación, situados en ambas cuencas.

### 3.1 DESCRIPCIÓN DEL MEDIO FÍSICO A ESCALA REGIONAL

#### 3.1.1 Climatología y balance hídrico

En cuanto a las características hidrometeorológicas, el clima de la región es de tipo subhúmedo húmedo, mesotermal, con una temperatura media anual de 13.6 °C en el período 1949-1986 (Tabla 4).

Tabla 4. Temperatura media anual de Tandil, período 1949-1986 (Fuente: Ruiz de Galarreta, 2006).

Mes	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Anual
Temperatura	20,8	19,8	17,6	13,5	10,3	7,3	7	8,1	10,4	13,1	16,1	19,2	13,6

Las precipitaciones medias mensuales para el período 1900-2000 se detallan en la Tabla 5 y su distribución se aprecia en la Figura 2. Se observa que el mes más lluvioso es marzo representando el 12% anual. Si bien las estaciones de verano, otoño y primavera alcanzan valores similares de precipitaciones, el verano, comprendido en los meses de diciembre-enero-febrero, presenta el mayor volumen de precipitación con 243 mm que equivale al 29% del total anual. Le siguen el período otoñal de marzo-abril-mayo con 234 mm abarcando el 27,9% anual y en tercer lugar la primavera comprendida en los meses de septiembre-octubre-noviembre con 227 mm y el 27,1%. El período invernal junio-julio-agosto presenta el menor volumen con 134 mm que comprende el 16% anual.

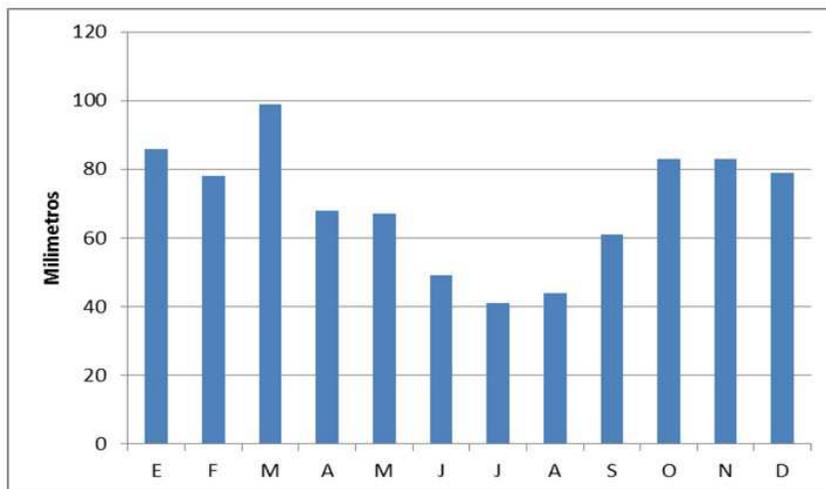


Figura 2. Precipitaciones medias mensuales de Tandil, período 1900-2000.

El balance hídrico (Tabla 5) efectuado por Ruiz de Galarreta *et al.* (2007) determina una evapotranspiración potencial (EVTp) ajustada siguiendo la metodología de Thornthwaite y Mather (1957) de 712 mm/año. Conociendo los valores mensuales de precipitación, la evapotranspiración potencial ajustada y los valores de la capacidad de almacenaje promedio de los suelos reconocidos en Tandil, fue determinada la evapotranspiración real (EVTr) que alcanza 694 mm, como así también los déficits que suman 18 mm en época estival y 144 mm de excesos hídricos desde mayo a noviembre. El almacenaje de agua útil, de acuerdo al tipo de suelo y vegetación predominante, fue establecido en 150 mm.

Los resultados se indican en la Tabla 5, incluyendo las siguientes variables, cuyos valores se expresan en milímetros: P = precipitación media mensual; EVTp = evapotranspiración potencial; Ppaa = pérdida potencial de agua acumulada; Alm = almacenamiento de agua útil;  $\Delta$  Alm = variación del almacenamiento de agua; EVTr = evapotranspiración real; De = Déficit; Ex = Excesos.

Tabla 5. Balance hídrico para el período 1900-2000 (Fuente: Ruiz de Galarreta *et al.*, 2007)

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total
P	86	78	99	68	67	49	41	44	61	83	83	79	838
EVTp	124	95	83	51	29	17	18	22	33	55	78	107	712
P-EVTp	-38	-17	16	17	38	32	23	22	28	28	5	-28	
Ppaa	-66	-83											-28
Alm	96	85	101	118	150	150	150	150	150	150	150	124	
$\Delta$ Alm	-28	-11											-26
De	10	6										2	18
Ex					6	32	23	22	28	28	5		144
EVTr	114	89	83	51	29	17	18	22	33	55	78	105	694

La representación gráfica del balance hídrico (Figura 3) muestra la diferencia entre los meses comprendidos de mayo a noviembre, donde se producen excesos, del período estival entre diciembre y marzo donde ocurren los déficits de agua. Si bien este último lapso posee las mayores precipitaciones, se destaca la importancia del proceso de evapotranspiración en la regulación del balance hídrico.

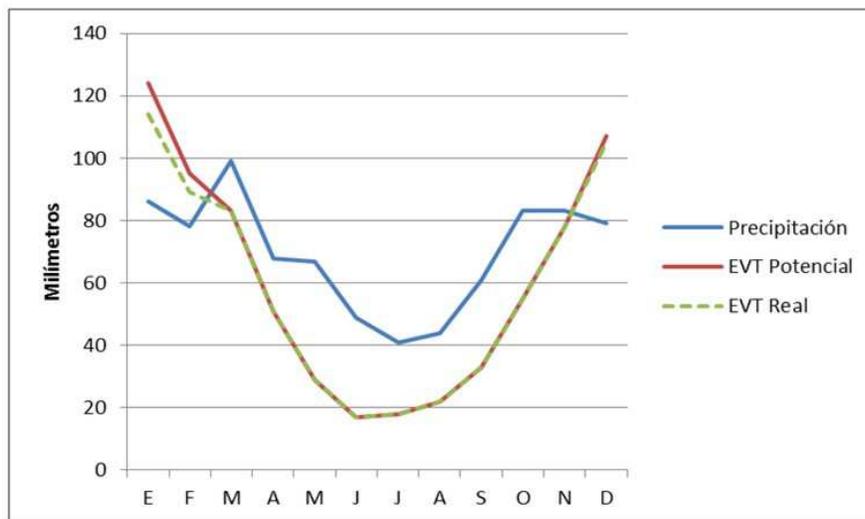


Figura 3. Balance hídrico 1900-2000. (Fuente: elaborado en base a Ruiz de Galarreta *et al.*, 2007).

Para una mejor comprensión de las variaciones hidrodinámicas del acuífero descritas en el Capítulo 4 en relación a la secuencia de lluvias, se hace necesario detallar en este punto, las precipitaciones mensuales ocurridas durante el período de desarrollo de esta investigación. Así es que en la Tabla 6 se indican las precipitaciones acaecidas en el período 2007-2013. En particular para el año 2013, solo se incluyen los datos disponibles desde enero a septiembre inclusive, debido a que la presente Tesis fue finalizada en octubre de 2013.

Tabla 6. Precipitaciones mensuales en Tandil período 2007-2013.

Fuente: Servicio Meteorológico Nacional.

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total
2007	41,1	96,8	77,7	101,1	31	53,1	1,5	19	141,2	88,4	14,7	30,9	696,5
2008	82,8	39,1	112,2	1,8	13,2	11,7	55,6	43,7	17,0	61,2	60,7	36,1	535,1
2009	28,4	24,1	37,6	58,2	55,1	29,9	34,3	5,6	59,9	15,2	147,8	121,4	617,5
2010	47,7	97,0	167,9	31,2	50,0	46,7	71,6	30,5	116,8	73,4	148,8	46,7	928,3
2011	188,9	53,3	23,6	58,7	45,7	33,0	70,6	35,1	65,0	26,7	174,2	61,5	836,3
2012	97,0	151,1	144,0	40,4	91,2	6,1	0,7	330,4	42,1	77,9	109,7	165,1	1255,7
2013	51,1	23,6	108,9	132,6	59,2	5,1	36,5	5,3	37,6				

### 3.1.2 Geología y geomorfología

El partido de Tandil se localiza en el sector central del Sistema de Tandilia, también denominado Sierras Septentrionales de la Provincia de Buenos Aires donde afloran las rocas más australes del Precámbrico medio de América del Sur (Figura 4). Las rocas que conforman dicho cordón serrano son las más antiguas del territorio argentino y constituyen una asociación ígneo-metamórfica denominada Complejo Buenos Aires por Marchese y Di Paola (1975). Datos radimétricos indican una larga historia geológica, principalmente dentro del ciclo Transamazónico (2.200 a 1.800 Ma). (Teruggi y Kilmurray, 1975 y 1980; Dalla Salda *et al.*, 1987 y 1988; Dalla Salda, 1999).

Éstas constituyen una provincia fisiográfica, formada por sierras, cerros, cerrilladas y lomas que sobresalen entre 50 y 250 m de la llanura pampeana. Las sierras están formadas por cuarcitas cementadas subhorizontales y cubiertas por un delgado manto loésico, donde se han desarrollado suelos muy profundos (Holmberg, 1972).

El sistema se encuentra alineado en sentido NO-SE, abarcando unos 300 km desde unos 50 km al NO de Olavarría hasta Cabo Corrientes en Mar del Plata. El ancho varía desde 6 km en los extremos hasta 60 km en la parte central, donde se encuentra la ciudad de Tandil.

El partido de Tandil de NO a SE está atravesado por los afloramientos de naturaleza granítica mientras que por el borde SO asoman los estratos tabulares del Paleozoico (Teruggi y Kilmurray, 1980). Estos últimos constituyen la sierra de La Tinta, donde el cerro La Juanita con una altura de 524 msnm representa la máxima altura de todo el sistema serrano.

Hacia el NE el relieve del partido desciende suavemente hacia la pampa deprimida. Este sector pedemontano está cruzado por varios arroyos que se desprenden de la vertiente NE de las sierras y escurren en dirección a la depresión del río Salado. La red de drenaje en el ambiente serrano se encuentra bien integrada y definida, con cursos controlados por la estructura de las sierras (Ruiz de Galarreta y Banda Noriega, 2005).

Tandilia es un elemento estructural positivo que representa un típico sistema de montañas de bloques, separados y alineados por fallas. Estas fallas principales de fracturación: E-O, NE-SO y NO-SE, son consecuencia de la reactivación que se produjo en esta región como respuesta a los movimientos orogénicos terciarios que dieron como resultado la formación de la Cordillera de Los Andes (Teruggi *et al.*, 1958; Teruggi y Kilmurray, 1980). Estas tres direcciones fundamentales aparentemente se mantienen en el subsuelo de la provincia de Buenos Aires hacia la depresión del río Salado, pues Zambrano (1974) reconoce en él sistemas de fallas directas con esos rumbos.

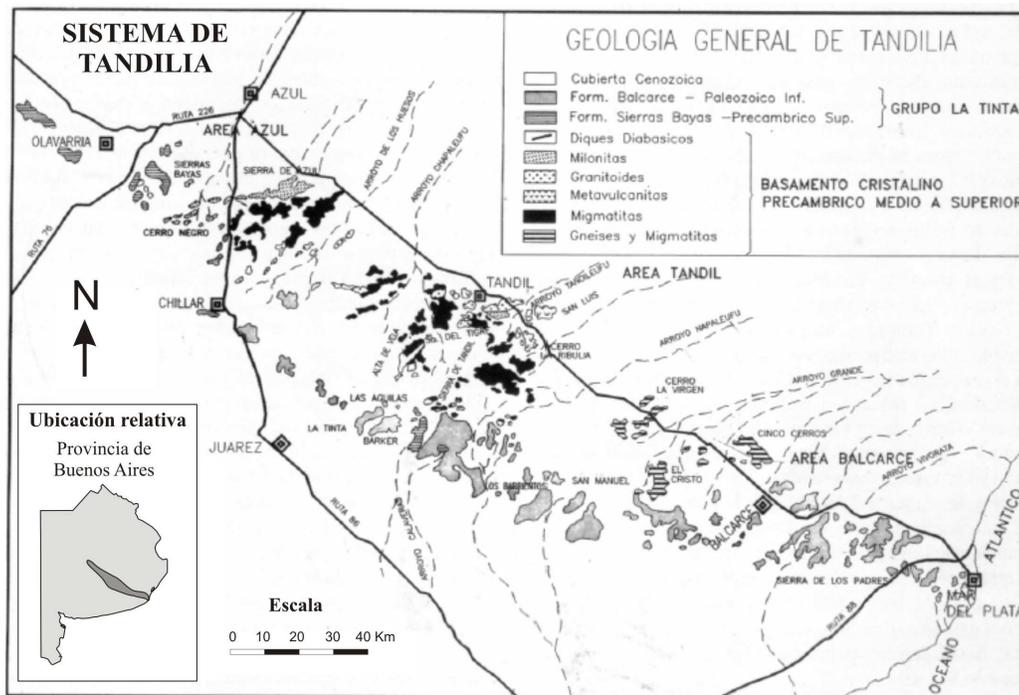


Figura 4. Ubicación y geología del Sistema de Tandilia. Modificado a partir de Dalla Salda (1999).

El relieve del área está conformado por una serie de bloques y depresiones originados por los movimientos de ascenso de las sierras (Turner, 1975). Dichos bloques constituyen un conjunto de sierras orientadas preferencialmente en dirección O-E y NE-SO (Zambrano, 1974). Las más importantes son las sierras Alta de Vela, del Tigre, de las Ánimas, Tandileofú y del Tandil.

Regionalmente el cordón está constituido por el basamento cristalino, de edad precámbrica compuesto esencialmente por migmatitas graníticas y en menor proporción migmatitas tonalíticas y granodioríticas (Teruggi *et al.*, 1958; Dalla Salda, 1999); una cubierta sedimentaria de edad paleozoica inferior o precámbrica (que sólo se encuentra presente en la parte S del área de estudio); y sedimentitas cuaternarias, constituidas por los sedimentos pampeanos cuya textura predominante es limo arenosa (Rabassa, 1973). La Figura 4 presenta el mapa geológico que muestra la distribución de los principales rasgos geológicos del basamento cristalino y la cubierta sedimentaria de Tandilia.

En los sedimentos pampeanos y postpampeanos (Ameghino, 1889), situados en discordancia erosiva sobre el basamento cristalino, se reconocen diversas formaciones establecidas por Rabassa (1973) de abajo hacia arriba: las Formaciones Barker (limolitas y psefitas), Vela (fluvial a eólica) y Las Ánimas (eólica). Para los sedimentos y sedimentitas de los valles fluviales, Rabassa (1973) estableció la Formación Tandileofú, cuya edad es afín a la Formación Vela.

Los sedimentos pampeanos de origen loésico, de aspecto masivo, compactos con presencia de tosca en forma de muñecos o láminas, de color generalmente castaño rojizo, presentan una granulometría que se caracteriza en las vecindades del frente montañoso por la presencia de un conglomerado integrado

por clastos de 3-4 cm hasta bloques de 30-50 cm y con disminución del tamaño hacia la zona distal. La matriz es limosa con fracciones subordinadas de arena y arcilla, con proporciones variables de carbonato de calcio (Fidalgo *et al.*, 1975). La composición mineralógica presenta componentes de rocas volcánicas, mesosilíceas y básicas. En las fracciones arena y limo grueso, predominan plagioclasas, ortosa, cuarzo y vidrio volcánico. La edad de los sedimentos pampeanos corresponde a la edad plioceno-pleistoceno medio y los sedimentos postpampeanos al Pleistoceno superior – Reciente (Fidalgo *et al.*, 1975).

La presencia de un conspicuo nivel de tosca se relaciona con una antigua paleo-superficie, denominada Paleosuperficie Tandil, vinculada a un clima seco hacia el Pleistoceno medio, diferente al clima subhúmedo a húmedo actual.

El cordón serrano, al elevarse en la era Cenozoica (Terciario a Cuaternario inferior) ha emergido y quedó luego sepultado bajo depósitos pampeanos y postpampeanos que cubrieron la región, con dos pendientes regionales que han dado lugar a la implantación de un drenaje consecuente hacia ambas vertientes (Teruggi y Kilmurray, 1980; Fidalgo *et al.*, 1975).

En general, el tamaño de las corrientes actuales es muy reducido en relación con el de los valles y además los álveos están excavados en los depósitos cuaternarios, y solo ocasionalmente en las rocas del basamento o la cubierta, en la parte más alta o las laderas más empinadas de algunos cerros (Teruggi y Kilmurray, 1980).

En cuanto a la geomorfología regional, pueden diferenciarse dentro del sistema serrano de Tandilia, y asimismo dentro del partido de Tandil, tres unidades geomorfológicas principales (Sala, 1975; Ruiz de Galarreta y Banda Noriega, 2005).

El sector serrano está caracterizado por la presencia de sierras, cerros aislados y valles, estos últimos relacionados con la existencia de bloques elevados por fallas directas. En esta zona la topografía es abrupta y se hallan las pendientes más altas. Se presentan subcuencas con concentración de aguas superficiales. Las divisorias superficiales son reconocibles y los valles de los cursos bien definidos.

El sector de piedemonte se localiza en forma continua al serrano, como resultado de la coalescencia de abanicos aluviales, con un gradiente más suave que el anterior. Presenta una red de drenaje bien definida y de diseño distributivo. En esta zona el flujo es divergente, tanto el superficial como el subterráneo.

El sector de llanura se desarrolla hacia el NE y se caracteriza por poseer pendientes muy bajas y divisorias muy poco marcadas. Los materiales que lo forman fueron en principio eólicos y sufrieron posteriormente un transporte y redepositación. El drenaje es deficiente y pobremente integrado, muestra cauces estrechos y cursos temporarios, los cuales a menudo se pierden en suaves depresiones. Tanto el flujo subterráneo como el superficial se presentan mediante líneas de flujo subparalelas.

### 3.1.3 Hidrología superficial

En el ambiente serrano del partido de Tandil tienen sus cabeceras ocho arroyos principales y sus cuencas, las cuales no se desarrollan en su totalidad en el ámbito de Tandil (Figura 5). Enumeradas en sentido NO-SE se incluyen las cuencas de los arroyos: de los Huesos, Chapaleofú, Langueyú (sobre la cual se asienta la ciudad de Tandil), El Perdido, Tandileofú, Las Chilcas, Napaleofú y Quequén Chico hacia el S.

La cuenca que cubre la mayor superficie es la del arroyo Chapaleofú, con 1.484 km<sup>2</sup> abarcando el 30% del partido. Le siguen las cuencas de: Napaelofú con 723 km<sup>2</sup> que equivale al 15% del distrito, Langueyú con 687 km<sup>2</sup> (14%), de los Huesos que ocupa 628 km<sup>2</sup> (13%) y Las Chilcas, con 461 km<sup>2</sup> (10%). Mientras que, como se observa en la Figura 5, las cuencas de menor tamaño son Quequén Chico, Tandileofú y El Perdido, que en conjunto cubren el 18% del partido de Tandil.

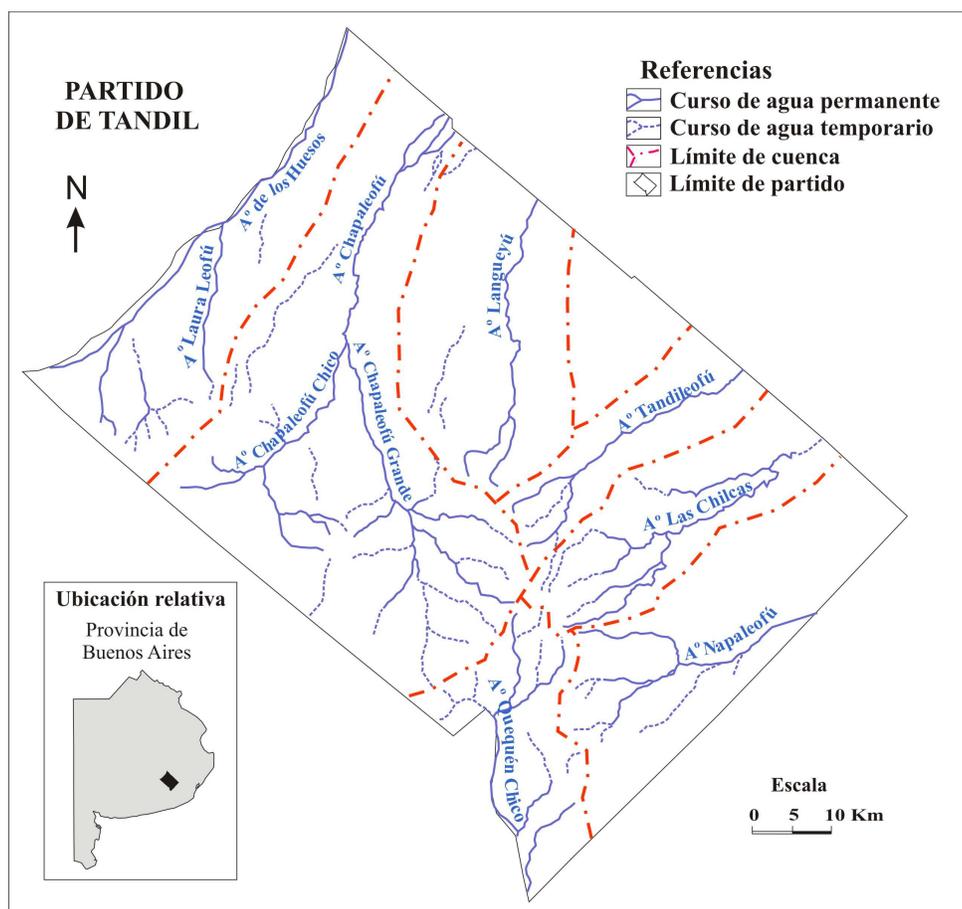


Figura 5. Principales cuencas hidrográficas del partido de Tandil.

Según Ruiz de Galarreta y Banda Noriega (2005), en el distrito se pueden diferenciar dos tipos de ambientes hidrológicos que definen el diseño de drenaje. Por un lado, el ambiente serrano presenta un drenaje de tipo consecuente, siguiendo la pendiente regional, integrado y bien definido, con diseño de tipo dendrítico y donde se observa un marcado control estructural en cuanto al rumbo de los cursos. La topografía característica de este ambiente en la zona de cabeceras condiciona a los cursos de régimen transitorio y efímero, determinando mayores gradientes y un rápido escurrimiento superficial con aporte de parte de sus aguas al subsuelo. El ambiente serrano da lugar al fenómeno de cuencas de concentración tanto superficial como subterránea con límites bien definidos. Aguas abajo, el régimen de los arroyos se vuelve permanente y con carácter efluente, siendo su caudal básico aportado por las aguas subterráneas.

Por otro lado, el ambiente pedemontano, que incluye los sectores proximal y distal, posee pendientes menores y decrecientes hacia el NE. Se produce la dispersión de los efluentes hídricos con expresiones hidrográficas con escaso grado de integración. Las cuencas presentan divisorias poco definidas y ciertas depresiones aisladas que interrumpen la regularidad del relieve. Esta característica de presentar divisorias poco marcadas podría favorecer, en ciertas zonas, los mecanismos de transferencia del flujo superficial de un área a otra de acuerdo al régimen de las precipitaciones en condiciones de excepción.

Según Hernández *et al.* (2002), los caudales medios anuales varían entre 0,88 m<sup>3</sup>/seg en el arroyo El Perdido hasta 2,18 m<sup>3</sup>/seg en el arroyo Langueyú.

Específicamente para la cuenca del arroyo Langueyú, en el sector serrano se presentan pequeñas subcuencas donde se produce la típica concentración de las aguas como las incluidas dentro del ejido urbano y aguas arriba de éste. En la Figura 6 se presenta la cuenca de dicho arroyo dentro del partido de Tandil, cuyo límite NE coincide con la demarcación política con el partido vecino de Ayacucho. En la misma Figura se aprecian los arroyos del Fuerte y Blanco que atraviesan la ciudad, en gran parte entubados, y reciben aportes a partir de los colectores pluviales que contribuyen en cantidades cada vez más cercanas a la precipitación total, debido a la importante impermeabilización del área urbana. Siguiendo en la dirección del flujo, en el sector periserrano ubicado al NE de la ciudad se da una configuración de flujo divergente, en concordancia con la morfología regional pedemontana. En este ambiente se presenta en solitario el curso del arroyo Langueyú, naturalmente efluente.

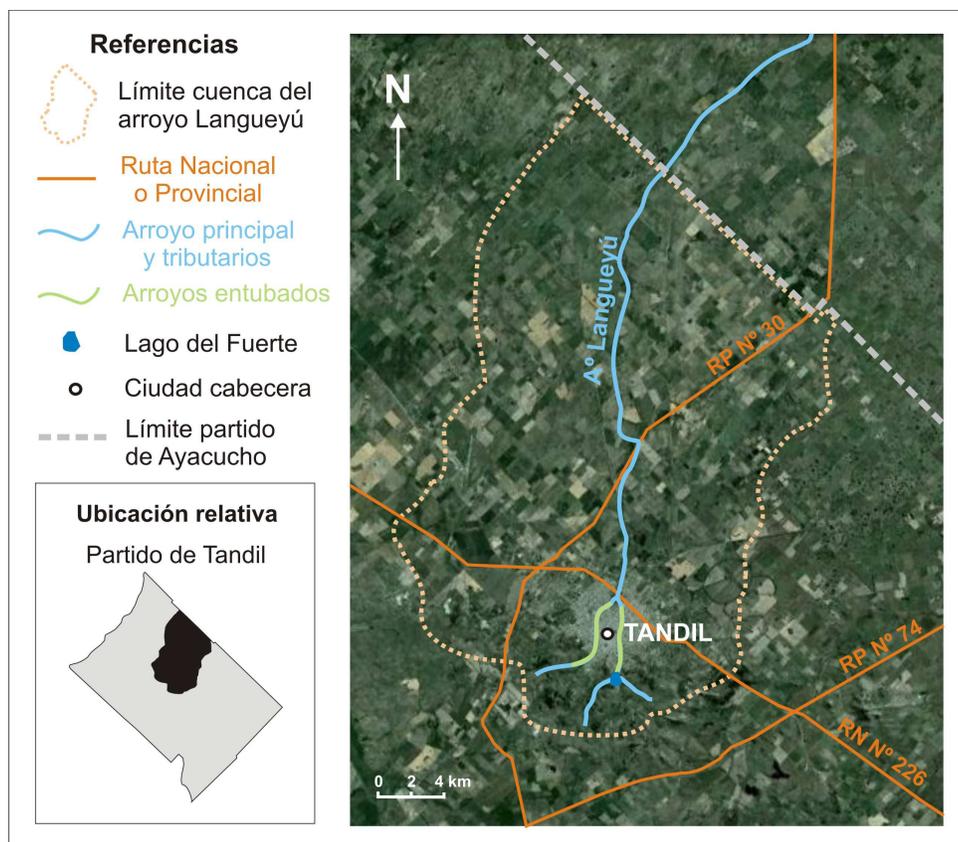


Figura 6. Cuenca del arroyo Langueyú y tributarios.

### 3.1.4 Hidrología subterránea

En el aspecto hidrogeológico, se distinguen dos unidades que se comportan de manera diferente, por su constitución, textura y estructura, en cuanto a la admisión y circulación del agua subterránea (Ruiz de Galarreta y Banda Noriega, 2005). Estas unidades son el basamento cristalino y los sedimentos cenozoicos, que se corresponden con los ambientes hidrológicos fisurado y poroso clástico, respectivamente.

El basamento cristalino compuesto por rocas primariamente acuífugas, presenta distintos grados de fracturación que le confieren una porosidad secundaria, dada por una importante fisuración por fallas y diaclasas. Esto determina una alta vulnerabilidad frente a las cargas contaminantes, por la elevada velocidad de circulación fisural.

La cubierta sedimentaria cenozoica, está constituida principalmente por sedimentos limo-arenosos con niveles basales gravo-arenosos y una disminución del tamaño hacia la zona distal del frente montañoso. En esta cubierta se incluyen los sedimentos pampeanos y postpampeanos, materiales de origen loésico y loessoide, que sobrepuestos al basamento, se corresponden con un medio poroso

clástico que da lugar al acuífero freático en explotación, tanto por la población urbana como rural. Su permeabilidad es primaria y el flujo natural es de forma laminar.

Es decir que hidrogeológicamente se presentan dos medios netamente diferenciados: el basamento cristalino que aflora en el sector serrano, y la cubierta sedimentaria que solapa al anterior y cuyo espesor se va incrementando hacia el NE en coincidencia con la profundización del basamento y del sentido de flujo del sistema hídrico.

El basamento cristalino es explotado ocasionalmente por la población que posee sus viviendas en el sector serrano donde el mismo aflora o presenta un pequeño tapiz de sedimentos sobrepuestos. Los caudales erogados en pozos particulares ubicados en este tipo de rocas no superan en general  $1 \text{ m}^3/\text{h}$  (Ruiz de Galarreta *et al.*, 2010).

El sistema acuífero en medio poroso clástico es multiunitario constituido por el acuífero freático, lo que pudo establecerse en base al análisis de más de 20 perforaciones antecedentes de los pozos de abastecimiento municipal de la ciudad de Tandil, ubicadas en su totalidad en la cuenca del arroyo Langueyú (Ruiz de Galarreta *et al.*, 2010). En la zona de localización de dichas perforaciones el espesor del paquete sedimentario oscila entre 55 y 78 metros, conformado por dos unidades de diferente permeabilidad: una basal por encima del basamento cristalino que con espesores variables se ubica a una profundidad mayor a los 45 metros, constituido por sedimentos arenosos con niveles de gravilla; y una unidad superior compuesta esencialmente por limos con diferentes niveles interdigitados de limos arenosos, limos arcillosos, y limos con variadas concentraciones de tosca diseminada. En general los rendimientos de los pozos situados en este medio son variables, y de acuerdo a la transmisividad, pueden superar los  $100 \text{ m}^3/\text{h}$  (Ruiz de Galarreta *et al.*, 2010). Con respecto a la zona no saturada, regionalmente en general tiene 10 metros de espesor, no obstante hay sectores pedemontanos donde al haber mayor potencia sedimentaria, el espesor alcanza los 40 metros (Ruiz de Galarreta, 2006).

La recarga del agua subterránea es regionalmente autóctona por precipitaciones, ubicándose las zonas preferenciales en los sectores más altos. La descarga se produce en los cursos superficiales. Específicamente para la cuenca del arroyo Langueyú, Barranquero *et al.* (2012a) determinaron, de acuerdo al balance de cloruro, que la recarga subterránea presentó una magnitud mayor en el sector de serranías y disminuye hacia la zona de llanura. Los valores fueron entre el 17% y 13% de la precipitación total en el sector de serranías, mientras que hacia la zona llana, al NE de la cuenca, resultó el 10% de la precipitación total.

Según Hernández *et al.* (2002) las aguas subterráneas en la zona minera de Tandilia son mayormente bicarbonatadas sódicas. Presentan contenidos de nitratos superiores a  $45 \text{ mg/L}$  en localidades rurales, mientras que la media para la región resultó de  $31,1 \text{ mg/L}$ . Las concentraciones de flúor variaron entre  $0,3$  y  $2,4 \text{ mg/L}$ , mientras que el arsénico osciló entre  $2$  y  $22 \text{ } \mu\text{g/L}$ . En el mismo estudio, se detectó la presencia de metales pesados en aguas subterráneas, incluyendo plomo, cinc y cromo, valores que en algunos casos superaron los límites recomendados para consumo humano.

Ruiz de Galarreta y Banda Noriega (2005) evaluaron los contenidos de nitratos en el partido de Tandil y determinaron la línea de base ambiental para ese ión, en un valor de 33 mg/L, en concordancia con el resultado obtenido por Hernández *et al.* (2002). Esta línea de base no sobrepasa el límite recomendado para consumo humano por el Código Alimentario Argentino de 45 mg/L.

### 3.1.5 Suelos

Con respecto a los suelos de la región, la caracterización de los mismos por el INTA (1989) diferencia 3 subregiones. La primera de ellas, correspondiente a la morfología serrana, se caracteriza por afloramientos rocosos, pedregosidad en superficie y sectores con un delgado manto de loess, en donde predominan los Hapludoles líticos y Hapludoles petrocálicos. La subregión pedemontana, que ocupa la mayor superficie de la cuenca, comprende las zonas de lomadas y los pequeños sectores de llanura, y está representada principalmente por Argiudoles típicos. La tercera zona, llamada de transición de los derrames, se extiende al Este hacia la localidad de Ayacucho.

En base a los mapas de suelos del INTA (1989), Verellén y Sánchez (2010) describieron la composición edáfica del sector de llanura del partido de Tandil, desarrollado hacia el N y E del mismo. Este sector ocupa el 36% de las tierras del partido, y es esencialmente utilizado para el desarrollo de actividades agropecuarias. Se destaca la predominancia de Argiudoles típicos, con el 45,7% del total del sector de llanura, seguido en un 20% por Natracuoles típicos, y en menor medida Hapludoles taptó árgicos (10,3%) y Natracualfes típicos (8,1%). El 15,9% restante se constituye de Natralboles típicos, Argialboles argiácuicos, Hapludoles taptó nátricos, Argiudoles líticos, Argialboles típicos y suelos indiferenciados.

Asimismo y específicamente para la cuenca del arroyo Langueyú, Zulaica y Sánchez (2003) caracterizaron la composición edáfica de las planicies distales de dicha cuenca dentro del partido de Tandil. También se destaca el predominio de Argiudoles típicos, ocupando el 44% de las planicies de la cuenca. Lo siguen en menor medida los Natracuoles típicos con el 26%, Natracualfes típicos con el 8,5% y Hapludoles taptó nátricos con el 6,1%. También están presentes, en superficies de alrededor del 4% cada uno: Argialboles argiácuicos, Hapludoles taptó árgicos, Natralboles típicos.

### 3.2 ASPECTOS SOCIOECONÓMICOS DEL PARTIDO DE TANDIL

#### 3.2.1 Población

En el partido de Tandil habitan 123.871 personas (INDEC, 2010) de los cuales aproximadamente el 90% se encuentra en la ciudad cabecera homónima. El crecimiento intercensal del partido fue de 6,8% en el período 1991-2001 y de 14,6% en el lapso 2001-2010, totalizando un incremento de 21,4% en las dos décadas.

En el ámbito rural, según INDEC (2001) la población que habitaba en las localidades rurales alcanzaba 2.437 habitantes (1.822 en María Ignacia; 501 en Gardey; 62 en De La Canal; 52 en Desvío Aguirre. De los demás parajes no hay datos disponibles.

En 2010 se realizó un Censo de Nacional de Población, Hogares y Viviendas, sin embargo hasta el momento de presentación de la Tesis sólo están disponibles los resultados de población a escala del partido de Tandil, sin datos desagregados por localidad.

A través de las entrevistas realizadas a los Delegados Municipales de las localidades de María Ignacia y Gardey se obtuvo información sobre los totales poblacionales de cada una, alcanzando 2.002 y 640 habitantes, respectivamente. En el caso de María Ignacia, las autoridades accedieron a esta información proveniente del Censo poblacional de 2010. En cambio, la localidad de Gardey fue censada como zona rural, por lo cual la Delegación Municipal, en conjunto con la Sala de Atención Primaria a la Salud, realizó un relevamiento poblacional obteniendo el dato antes indicado.

Las dos localidades rurales más importantes del partido presentaron crecimiento poblacional respecto a los datos censales de 1991 y 2001. En Gardey el incremento fue de 4,15% en el lapso 1991-2001 y de 27,7% entre 2001 y 2010, totalizando un aumento de 31.85% en 20 años. Por su parte, María Ignacia presentó un crecimiento poblacional de 2,47% entre 1991 y 2001 y de 9,87% entre 2001 y 2010, sumando un 12,34% en las dos décadas.

Jacinto (2011) detalla la existencia de transformaciones territoriales en los vínculos que los asentamientos de rango menor (ARM) del partido de Tandil tienen con la ciudad cabecera. Estos cambios se basan en distintos ejes: la consideración de los ARM como espacios potenciales de residencia alternativos a la ciudad cabecera; el desarrollo de actividades turístico-recreativas y establecimiento de alojamientos de turismo rural, poniendo en valor los recursos locales; y la valorización del patrimonio natural en los ARM.

La consideración de los ARM como espacios potenciales de residencia alternativos ocurre como consecuencia de la presión y especulación inmobiliaria existente en la ciudad de Tandil, que genera un incremento de los precios de las tierras. Este proceso fue favorecido por la proximidad y buena comunicación vial entre las localidades de María Ignacia y Gardey y la ciudad de Tandil y por la existencia de terrenos vacantes en ambos parajes. Este dinamismo residencial plantea la necesidad de

investigar la situación actual del recurso subterráneo en la zona, y en forma simultánea pone de manifiesto la importancia de dotar de infraestructuras de servicios básicos, principalmente agua y red cloacal a las localidades.

### **3.2.2 Actividades económico-productivas**

Por su extensión, las actividades agropecuarias predominan en el partido de Tandil, ocupando el 89,6% del territorio. El rol más importante lo tiene la agricultura con el 58,6% de la superficie del partido de Tandil (INDEC, 2002).

Los principales cultivos son trigo, girasol, maíz y soja, esta última con una importancia y ocupación creciente. Además, el SE bonaerense, en especial los partidos de Tandil y Balcarce, ha sido tradicionalmente una zona de cultivo de papa. Según comunicación personal del Ingeniero Agrónomo Carlos Herrera de la empresa Mc Cain, en la campaña 2011-2012 se sembraron 4.300 hectáreas con papa en el partido de Tandil. El destino principal del producto es 80% para el mercado fresco nacional y 20% para la industria. Si bien esta superficie representa sólo el 1,5% del área agrícola del partido, la actividad papera es de sumo interés en lo referido al manejo del agua subterránea, debido a que se realiza con la aplicación de riego complementario. En el Capítulo 4, apartado 4.6.1, se analiza el uso del recurso en su producción.

Dentro de las actividades ganaderas, los tambos constituyen un rubro característico dentro del área de estudio. El partido de Tandil forma parte de la Cuenca lechera Mar y Sierras, junto a otros 22 distritos del SE de la provincia de Buenos Aires, y es uno de los principales productores junto a General Pueyrredón y Balcarce. En Tandil hay 148 tambos que producen unos 600.000 litros de leche diarios, y proveen de leche a distintas usinas de las grandes empresas regionales, nacionales e internacionales. Unos pocos tambos menores, abastecen a establecimientos locales dedicados a la elaboración de derivados lácteos, especialmente quesos (Venacio, 2007).

En el Capítulo 4, apartado 4.6.2, se caracteriza el uso del recurso subterráneo en esta actividad, debido al interés generado por el importante consumo de agua en el funcionamiento de los tambos.

Además, existen otras actividades económico-productivas de relevancia, como lo son la minería, la industria metalmecánica y los servicios. En cuanto a la minería, es una actividad económica importante en Tandil. La explotación se realiza en canteras a cielo abierto, muchas de ellas próximas al tejido urbano. El volumen de producción más importante corresponde al granito triturado (Venacio, 2007). La expansión urbana ha generado el avance del tejido hacia zonas con canteras en explotación, provocando un conflicto entre la actividad minera y el uso residencial.

Con respecto a la actividad industrial, las primeras industrias en Tandil datan de finales del siglo XIX y principios del XX, teniendo una gran importancia las actividades metalmecánicas, alimenticias, madereras, textiles y fabricación de productos no metálicos (Zulaica, 2005). En la actualidad, Tandil

cuenta con un Parque Industrial localizado en el NO de la ciudad en la intersección de la Ruta Nacional 226 y la Ruta Provincial 30 (ver Figura 6). Paulatinamente se está efectuando el traslado de industrias al predio del Parque Industrial, mientras que otras siguen funcionando en zona urbana. Según el último relevamiento de la actividad industrial realizado por el Municipio de Tandil en 2004, del total de 594 industrias predominaban las alimenticias y de bebidas con el 38,4%, y la fabricación de productos metálicos y maquinarias con el 26,6%. En menor medida, existen industrias metal básicas (8,75%), producción de minerales no metálicos (8,58%), industrias madereras (6,56%), textiles (4,88%), y el resto se distribuye entre papeleras y fabricación de productos químicos.

Por su parte, las actividades terciarias de servicios han crecido notablemente en los últimos años. En especial, el turismo es un rubro de gran importancia, debido al atractivo paisajístico ofrecido por las serranías de Tandilia, sumado a la amplia y creciente oferta hotelera, gastronómica y recreativa.

Específicamente para la cuenca del arroyo Langueyú, dentro del partido de Tandil, Zulaica (2008) describió los principales usos de las tierras. El 57% de las tierras de la cuenca se utilizan para agricultura, con presencia de tambos. La actividad ganadera extensiva es importante, con un 37% del área. El uso urbano junto al comercial, industrial, de servicios y esparcimiento, ocupa el 5%, debido a la ubicación de la ciudad cabecera dentro de esta cuenca. El 1% restante se compone de los usos mineros, forestales y un área protegida.

### **3.3 HIDROGEOLOGÍA DE LA CUENCA DEL ARROYO LANGUEYÚ**

Tal como se indicó en los Antecedentes, desde el año 2004 la cuenca del arroyo Langueyú, dentro del partido de Tandil, ha sido ampliamente estudiada por integrantes del CINEA. Actualmente se continúan profundizando los conocimientos hidrogeológicos sobre la misma.

En el ámbito serrano de la cuenca, sobre el basamento cristalino no existen las sedimentitas cuarcíticas paleozoicas (por erosión o no depositación), estando la cubierta sedimentaria constituida solamente por depósitos cenozoicos (Ruiz de Galarreta *et al.*, 2011).

En concordancia con la hidrogeología regional antes descrita, se distinguen en la cuenca dos unidades hidrogeológicas con diferente grado de representatividad dependiendo del sector del que se trate, que se comportan de manera diferente en cuanto a la admisión y circulación del agua subterránea (Ruiz de Galarreta y Banda Noriega, 2005). En el área serrana, hacia el S de la cuenca, se halla el basamento cristalino aflorando o cubierto por un escaso manto de limos eólicos. En el resto de la cuenca, el basamento cristalino se encuentra cubierto por sedimentos cenozoicos, constituidos principalmente por materiales limo arenosos con niveles basales gravo arenosos. Asimismo, la cubierta sedimentaria cenozoica se encuentra en su mayor parte constituida por sedimentos pampeanos y, en menor medida, por sedimentos postpampeanos (Ruiz de Galarreta *et al.*, 2011).

La realización de 33 sondeos eléctricos verticales, donde la autora participó activamente, permitió conocer la profundización del basamento cristalino. Éste se halla aflorando o a muy escasa profundidad en la cabecera de la cuenca y se profundiza hacia el N, alcanzando los 200 metros de profundidad (Figura 7), en cercanías del límite del partido de Ayacucho (Ruiz de Galarreta *et al.*, 2011; Barranquero *et al.*, 2011a). La disposición de las líneas de isoprofundidad en sentido O-E indican que la variación no es uniforme, ya que en algunos sectores el aumento más abrupto de la profundidad del basamento cristalino estaría señalando la presencia de escalonamientos (Ruiz de Galarreta *et al.*, 2011).

En lo que respecta a la hidrodinámica subterránea, el flujo regional (Figura 8), muestra un sentido de escurrimiento hacia el NE, en concordancia con las características morfológicas superficiales, aunque con un menor gradiente (Ruiz de Galarreta *et al.*, 2007). En el sector S de la cuenca, dentro del ámbito serrano, se observa la concentración del escurrimiento siendo influente el agua subterránea en relación a los arroyos Blanco y del Fuerte. En la zona extraserrana se observa una leve dispersión del flujo freático siguiendo la morfología en abanico con tendencia a plana. El curso del arroyo Langueyú no recibe aportes laterales y su relación con el acuífero es de escasa magnitud.

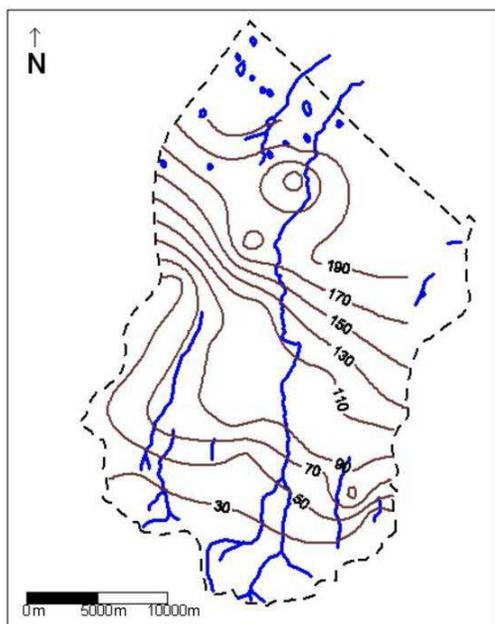


Figura 7. Mapa de isoprofundidad del basamento cristalino. Fuente: Ruiz de Galarreta *et al.*, 2010.

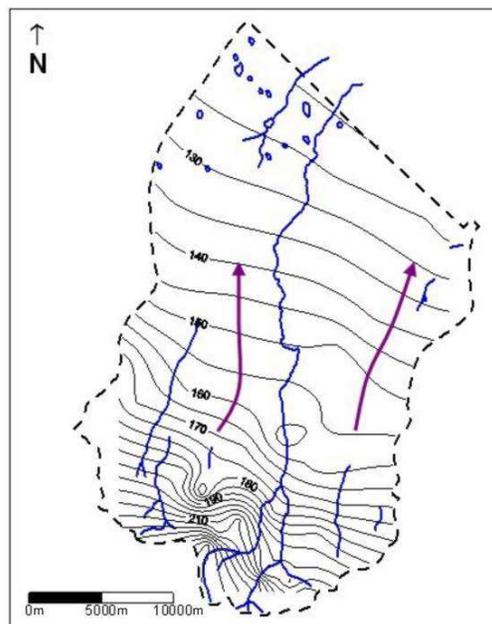


Figura 8. Mapa equipotencial para junio 2008. Fuente: Ruiz de Galarreta *et al.*, 2010.

La velocidad media de flujo subterráneo en base al material y ensayos puntuales (permeabilidad 5 m/d, porosidad 10%) y de un gradiente medio (0,01), determina una velocidad efectiva de 0,5 m/d. Este último valor es coherente con los aspectos hidroquímicos generales, ya que se trata de aguas de baja salinidad y contenidos iónicos que denotan un flujo veloz, con una progresiva reducción de este vector hacia las zonas de descarga tanto local como regional. La transmisividad es variable, fluctuando entre 100 y 700 m<sup>2</sup>/día (Ruiz de Galarreta *et al.*, 2010).

El agua subterránea posee distintas concentraciones de iones que se corresponden, en general, con la característica de aguas jóvenes, principalmente porque presentan bajo contenido salino y predominio del ión bicarbonato.

Según Barranquero *et al.* (2008b) las aguas subterráneas se clasifican, de acuerdo a su composición química, como bicarbonatadas sódicas. Sus características físico-químicas principales se presentan en la Tabla 7.

Con respecto a los tenores de nitratos, se aprecia la similitud entre los valores regionales antes indicados (Ruiz de Galarreta y Banda Noriega, 2005; Hernández *et al.*, 2002) con el obtenido en la cuenca del arroyo Languyú de 31,7 mg/L.

Tabla 7. Características físico-químicas de las aguas subterráneas en la cuenca del arroyo Languyú.  
Fuente: Barranquero *et al.*, 2008b.

Iones en mg/L	Promedio
Dureza (mg CO <sub>3</sub> Ca/L)	179
pH	7,8
Conductividad eléctrica (µS/cm)	797,4
Bicarbonato (mg HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /L)	478,8
Cloruro (mg Cl <sup>-</sup> /L)	31,7
Nitrato (mg NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /L)	31,7
Sulfato (mg SO <sub>4</sub> <sup>=</sup> /L)	13,3
Calcio (mg Ca <sup>++</sup> /L)	36,4
Sodio (mg Na <sup>+</sup> /L)	195,7
Magnesio (mg Mg <sup>++</sup> /L)	20,9
Potasio (mg K <sup>+</sup> /L)	13,8

Barranquero *et al.* (2012a) determinaron que las variables hidroquímicas, al igual que las hidrodinámicas, presentan una importante dependencia de las zonas de sierras, piedemonte y llanura. Los autores indicaron que la composición química es coherente con una evolución regional esperada en el sentido del flujo, no obstante lo cual, se encuentran particularidades en los distintos sectores geomorfológicos de la cuenca.

Asimismo, Barranquero *et al.* (2012b) evaluaron el contenido de arsénico en la cuenca del arroyo Languyú, detectando que el 78% de las muestras presentó valores de arsénico por encima de 10 µg/L, y resultó un valor medio de 25 µg/L. Sin embargo, sólo una de las muestras superó 50 µg/L. Cabe retomar lo dicho en el Marco Legal, apartado 1.9 de esta Tesis, donde se indicó que actualmente en Argentina el límite máximo para arsénico en agua de consumo humano es de 50 µg/L, mientras que siguiendo las recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud se pretende bajar este nivel a 10 µg/L para el año 2017. En el mismo trabajo, Barranquero *et al.* (2012b) determinaron que los fluoruros no superaron el límite máximo establecido por el Código Alimentario Argentino (CAA), pero un 32% poseen contenidos

por debajo de límite inferior (0,8 mg/L). Los autores observaron que tanto el arsénico como los fluoruros aumentan hacia el N de la cuenca, en coincidencia con la presencia de materiales loésicos más finos.

### 3.4 HIDROGEOLOGÍA DE LA CUENCA DEL ARROYO CHAPALEOFÚ CHICO

Con respecto a la cuenca del arroyo Chapaleofú, la información es más escasa, existiendo antecedentes sobre uno de los tributarios: el arroyo Chapaleofú Chico.

La cuenca del Chapaleofú Chico posee una superficie aproximada de 370 km<sup>2</sup> y sus nacientes se sitúan en el subsistema serrano denominado Sierra Alta de Vela. El sentido de escurrimiento general del arroyo es en dirección NE y tiene una serie de afluentes que en general son cursos de carácter efímero.

Pessolano (2011) elaboró el mapa equipotencial para la cuenca del Chapaleofú Chico en el primer semestre de 2009 (Figura 9), en el que se observa la dirección del flujo subterráneo regional hacia el NE, acorde a las características morfológicas superficiales. Puede observarse que en el sector de las nacientes del arroyo el sentido del escurrimiento es hacia el NO, aunque esto sólo se presenta en esa zona.

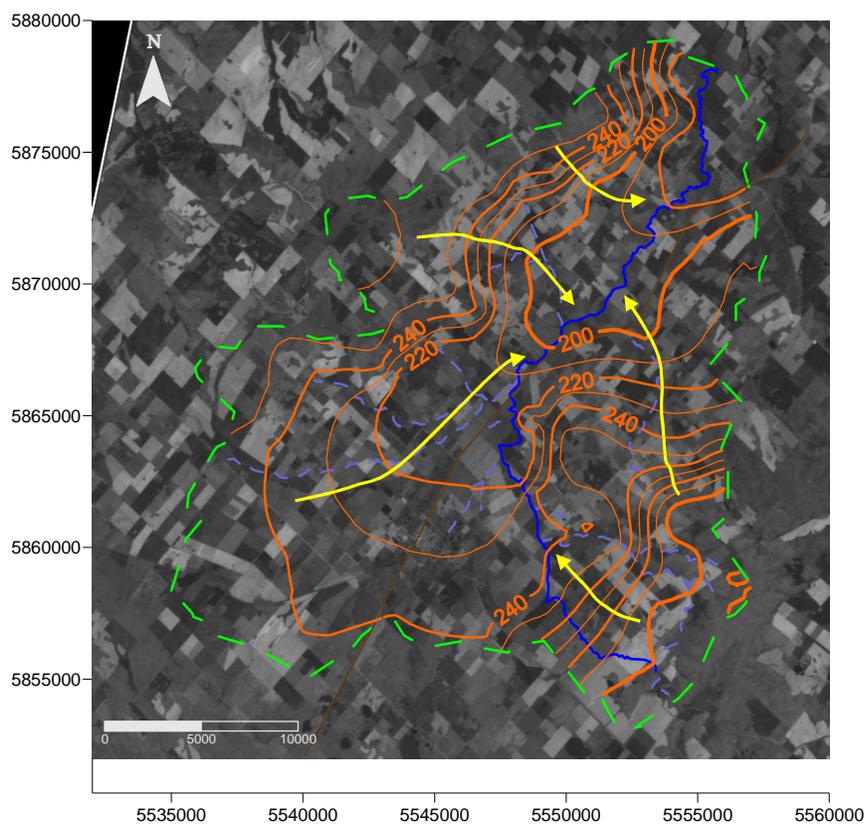


Figura 9. Mapa equipotencial de la cuenca del arroyo Chapaleofú Chico, en el primer semestre de 2009. Fuente: Pessolano, 2011.

El arroyo Chapaleofú Chico, en los tramos en que se presenta como permanente, se comporta como efluente respecto de la capa acuífera. El carácter del agua subterránea se invierte en las zonas donde se presentan cursos efímeros (Pessolano, 2011).

Las zonas preferenciales de recarga se localizan en las divisorias superficiales y en el sector SE en el mayor sistema de serranías presente en la cuenca (Sierra Alta de Vela). Las zonas de descarga del acuífero incluyen el curso principal y sus afluentes perennes.

La morfología de la capa acuífera es de tipo radial localizándose los mayores gradientes hídricos en el área de la cuenca superior, con valores que rondan en 0,019 y decrecen con el sentido del escurrimiento hasta valores de 0,004 en la cuenca media. El valor promedio del gradiente hídrico hallado fue de 0,01. Mientras que la velocidad efectiva brindó un valor de 0,5 m/d (Pessolano, 2011).

Asimismo, Pessolano (2011) y Pessolano *et al.* (2012) evaluaron la calidad del agua subterránea haciendo énfasis en la conductividad eléctrica y el contenido de nitratos. Con respecto a la conductividad eléctrica, ésta presentó valores entre 550 y 850  $\mu\text{S}/\text{cm}$  a lo largo de la cuenca para el primer semestre de 2009, con una media de 655  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Por su parte, el ión nitrato osciló entre 12 y 46 mg/L en distintos puntos de la cuenca en el mismo período, con una media de 29,89 mg/L. Se destaca la presencia de tenores superiores a 45 mg/L en establecimientos agropecuarios dedicados a la actividad de ganadera, especialmente tambos y cría intensiva (*feed lot*).

### **3.5 LOCALIZACIÓN DE LOS SECTORES DE ESTUDIO SELECCIONADOS**

#### **3.5.1 Barrios periurbanos**

Como se indicó en Metodología, se ha trabajado por un lado sobre dos sectores periurbanos de la ciudad de Tandil, los cuales carecían (al momento de la investigación) de servicios sanitarios. Ambos sectores se encuentran emplazados en la cuenca del arroyo Langueyú, en su parte alta. La Figura 10 los sitúa teniendo como referencia a la ciudad de Tandil.

El barrio Cerro Los Leones se ubica a 6 km al O de la ciudad cabecera y constituyó el área de estudio en la Tesis de Maestría en Evaluación Ambiental de Sistemas Hidrológicos (Rodríguez, 2010) de la autora. En la presente investigación sólo se retomaron algunos de los aspectos más importantes de este sector, y en especial se focalizó en el conflicto generado por el acceso al agua potable y en el que el producto de la investigación de la Tesis de Maestría jugó un rol fundamental en su resolución.

El otro sector periurbano no posee una denominación establecida, pero al encontrarse situado en las márgenes de la Avenida Don Bosco, popularmente se lo conoce con el nombre de barrio Don Bosco. Se encuentra ubicado al S de la ciudad de Tandil, distante unos 3 km de la misma.

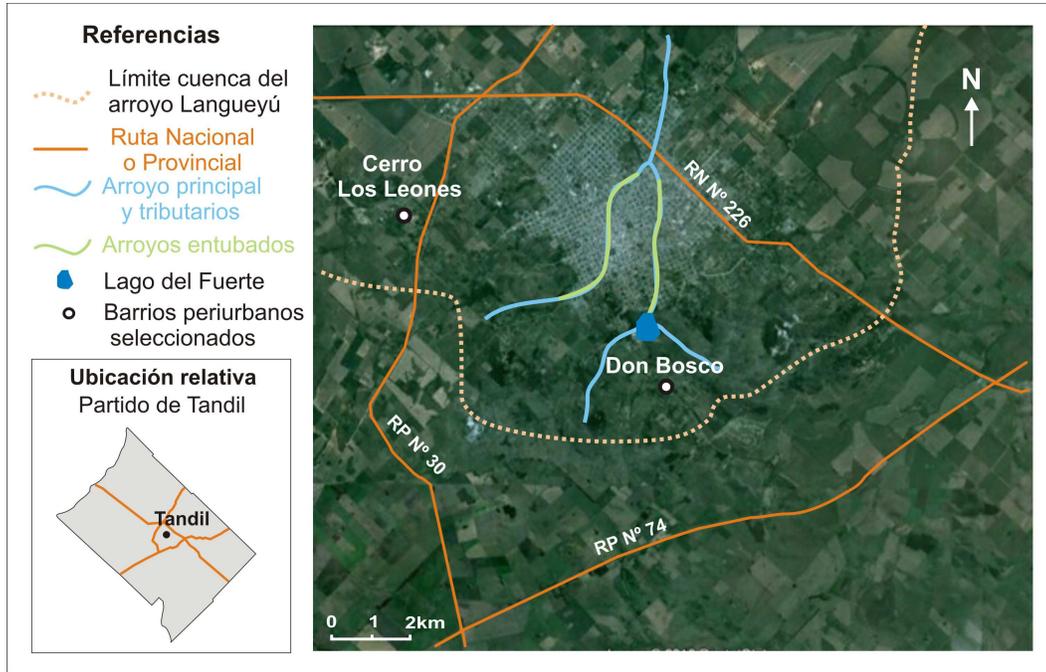


Figura 10. Sectores periurbanos seleccionados.

### 3.5.2 Localidades rurales

Se seleccionaron los dos asentamientos de rango menor (ARM) más importantes del partido de Tandil: María Ignacia y Gardey, localizados en la cuenca del arroyo Chapaleofú Chico (Figura 11).

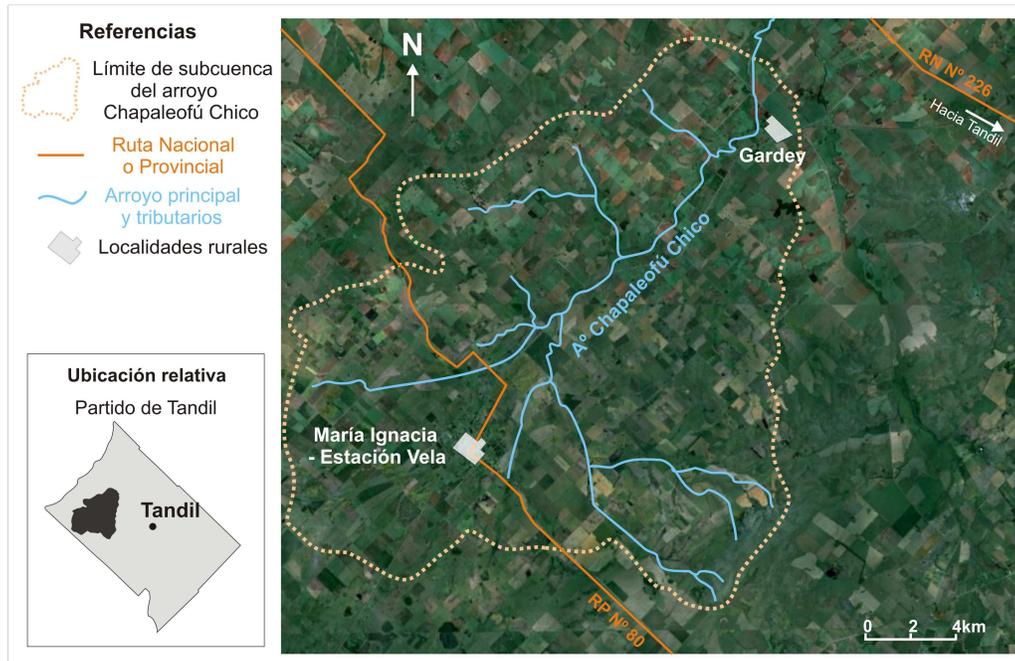


Figura 11. Localidades rurales ubicadas en la cuenca del Chapaleofú Chico.

El Plan de Desarrollo Territorial los reconoce como centros de servicio rural de primera categoría definiéndolo como “*aquellos centros poblados que prestan servicios básicos y especializados al entorno rural y que requieren de un programa especial y de normas preventivas mínimas para su desarrollo*” (Municipio de Tandil, 2005).

La localidad de María Ignacia, también conocida como Estación Vela es el mayor asentamiento rural del partido de Tandil. Se sitúa a 50 km al O de la ciudad de Tandil y se conecta con ésta a través de las Rutas Provinciales N° 74 y 80. Gardey es la segunda localidad rural de importancia en el partido. Se ubica a 29 km al O de la ciudad cabecera y se accede a través de la Ruta Nacional N° 226.

## **CAPÍTULO 4**

### **EVALUACIÓN DEL USO Y GESTIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA**

En este capítulo se presentan y discuten los resultados de la investigación. Contiene siete apartados. El primero de ellos se refiere a la identificación de los actores involucrados en el proceso de gestión del agua. El segundo apartado describe los conflictos relacionados al acceso al agua potable en Tandil. En tercer lugar, se identificaron las principales fuentes y cargas contaminantes que afectan al recurso hídrico subterráneo en Tandil. A continuación, se evalúa el manejo del recurso en distintos sectores del área de estudio: la ciudad de Tandil, dos barrios periurbanos, y dos localidades rurales, en los apartados cuarto, quinto y sexto, respectivamente. Por último, se analiza su uso en dos actividades agropecuarias de importancia regional, como lo son el cultivo de papa bajo riego y la producción lechera en tambos.

#### **4.1 ACTORES INVOLUCRADOS EN LA GESTIÓN DEL AGUA**

La realización de diversas entrevistas a informantes clave contribuyó tanto a la identificación de los participantes involucrados en la gestión del agua subterránea en Tandil como a otros aspectos fundamentales de la presente investigación. Entre los entrevistados se incluyeron:

- Habitantes de los distintos sectores de estudio, tanto residentes antiguos como aquellos recientemente instalados.
- Personal de la Dirección de Obras Públicas del Municipio de Tandil.
- Personal de la Cooperativa de Agua Potable de María Ignacia: Presidente Sr. Jorge Ramos y personal técnico y administrativo.
- Delegado Municipal de María Ignacia: Sr. Fabián Riva.
- Personal del Hospital Municipal Rodríguez Larreta de la localidad de María Ignacia: Director Médico Matías Tringler y trabajadoras sociales de la institución.
- Delegado Municipal de Gardey: Sr. Matías Meli.
- Personal técnico de Obras Sanitarias Tandil sede Gardey.
- Ingeniero Agrónomo Carlos A. Herrera de la empresa Mc Cain.
- Integrantes del Centro de Productores de Papa de Tandil.
- Encargados y propietarios de tambos del partido de Tandil

Los actores se clasificaron en cuatro grupos según su nivel de gestión: normativo y de control; económico-productivo; político-social; científico-ambiental. También se detallaron otras características,

tales como el carácter interno o externo en relación al área de estudio, el carácter formal o informal según la situación legal en la cuenca, y el carácter público o privado.

Al final del apartado, la Tabla 8 resume la red de participantes descripta.

#### 4.1.1 Nivel normativo y de control

En el año 2003, y ante la gran fragmentación sectorial e institucional que caracterizaba a las cuestiones hídricas en Argentina, se creó la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación (SsRH), con el objetivo de llevar adelante los preceptos de la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos y posicionar a la inversión pública en obras de infraestructura hídrica como prioridad de su misión. Según el Subsecretario Ing. Bortolozzi, la SsRH como Autoridad Hídrica Nacional *“promueve el armónico desarrollo, aprovechamiento, control y protección de los recursos hídricos en consenso con todas las jurisdicciones provinciales y la Ciudad Autónoma de Buenos Aires”*<sup>4</sup>.

A nivel nacional, el Ente Nacional de Obras Hídricas de Saneamiento (ENOHSA) tiene como misión organizar, administrar y ejecutar programas de infraestructura que deriven de las políticas nacionales del sector Agua Potable y Saneamiento básico, en toda la extensión del territorio País.

Tanto el ENOHSA como la SsRH pertenecen a la Secretaría de Obras Públicas de la Nación. El primero de ellos está dedicado a las obras de infraestructura de saneamiento, mientras que la Subsecretaría abarca aspectos más generales de la cuestión hidrológica.

Por otra parte, como se indicó previamente en el apartado 1.9 Marco legal, el Consejo Hídrico Federal (COHIFE) fue creado en 2002, como resultado de un acuerdo sobre la *“necesidad que entre las provincias y la Nación exista una instancia federal [...] La creación del COHIFE facilita el intercambio de ideas y experiencias entre provincias que no son parte de la misma cuenca, lo cual les brinda una perspectiva más amplia y también más afín con la que tienen los organismos nacionales”* (Sitio Web COHIFE).

En la provincia de Buenos Aires, la Dirección Provincial de Saneamiento y Obras Hidráulicas (DIPSOH) es la encargada de la realización de proyectos y obras hidráulicas referidos al saneamiento ambiental y control de inundaciones de la Provincia de Buenos Aires. Además, como se anticipó en el Marco Legal, la Autoridad del Agua (ADA) constituye la entidad de aplicación del Código de Aguas a nivel provincial.

Ante lo expuesto se observa la coexistencia de organismos de nivel nacional y provincial sobre la temática hidrológica, lo que muchas veces complejiza el accionar ante un problema vinculado al agua, y vuelve difícil para los habitantes saber ante qué organismo deben plantear sus reclamos.

---

<sup>4</sup> Sitio Web Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación <http://www.hidricosargentina.gov.ar/index.php>

En lo que se refiere a los aspectos ambientales relacionados a la cuestión hidrológica, se incluyen como actores al Consejo Federal de Medio Ambiente (COFEMA) a nivel nacional, y al Organismo Provincial para el Desarrollo Sostenible (OPDS), a nivel provincial.

El OPDS fue creado por la Ley 13.757/2007 para constituirse en la autoridad de aplicación en materia ambiental en el ámbito de la Provincia de Buenos Aires. Entre sus misiones y funciones se incluyen la planificación y ejecución de la política ambiental a nivel provincial y la preservación de los recursos naturales, ejerciendo el poder de policía, y fiscalizando todo tipo de efluentes. Se encarga de fiscalizar todos los elementos que puedan ser causa de contaminación del agua, así como del aire y el suelo. También le incumben los programas de educación ambiental destinados a mejorar y preservar la calidad ambiental. Además, entre sus numerosas áreas de competencia se incluyen la biodiversidad, el uso de energías y la implementación de alternativas renovables, la evaluación y regulación en materia de residuos, entre otros temas ambientales.

En Tandil, OPDS interviene en la regulación de las industrias categorizadas en la 2° y 3° categoría según la Ley 11.459/93. Además, ha llevado adelante análisis de calidad del agua en el arroyo Langueyú e inspección de descargas de efluentes líquidos a dicho curso. Por otra parte, y como se explicará en el apartado 4.2, OPDS coordinó la elaboración del Plan de Manejo Ambiental para el área protegida creada en Tandil.

A nivel local, el principal actor es el Municipio de Tandil, organismo público responsable de gestionar el uso de los recursos hídricos superficiales y subterráneos, así como de garantizar su protección, responsabilidad delegada por Obras Sanitarias de la Provincia de Buenos Aires en 1980. De ese modo, el Municipio cuenta con un ente específico que funciona desde 1938, llamado Obras Sanitarias Tandil (OST), encargado de la distribución de agua potable a través de una red, del mantenimiento de los sistemas cloacales y pluviales, y del tratamiento de los efluentes cloacales.

Además, en sectores periurbanos de la ciudad de Tandil donde existen dificultades para la extracción del recurso subterráneo por la rocosidad, o donde la calidad no es apta para consumo humano, Obras Sanitarias Tandil se encarga de abastecer a los pobladores con agua potable transportada y distribuida mediante camiones cisterna. Este servicio es gratuito para los habitantes, pero no resuelve por completo sus necesidades de agua, debido a que el recurso es otorgado con frecuencia semanal, en un determinado volumen, que a veces no es suficiente.

En el ámbito rural, OST posee perforaciones para el abastecimiento a las localidades de Gardey, De La Canal y Azucena. En cambio, en María Ignacia, la Cooperativa de agua potable situada en la localidad está a cargo de la cobertura parcial del servicio, y también brinda otros como electricidad, teléfono e internet.

Dentro del Municipio de Tandil, existe una Subsecretaría de Medio Ambiente, la cual también está involucrada en la gestión ambiental de las aguas a nivel local.

#### 4.1.2 Nivel económico-productivo

En lo que se refiere al aprovechamiento directo del recurso hídrico, uno de los principales actores son los usuarios que requieren el agua para su vida cotidiana. En el partido de Tandil, los usuarios pueden dividirse en los que se encuentran abastecidos por los servicios de agua potable y cloacas, y aquellos que acceden solamente al primero de ellos o a ninguno de los servicios.

En el primer caso, los beneficiarios abonan una “tasa por servicios sanitarios” al Municipio de Tandil. Cabe destacar que la existencia y funcionamiento de medidores del consumo de agua de red es limitada sólo a un sector de la ciudad cabecera, por lo cual la mayoría de los usuarios abona una tasa fija bimestral independientemente del volumen utilizado.

Los que no poseen el servicio de agua corriente, deben realizar sus perforaciones. Si además las viviendas no están conectadas a la red cloacal, como sucede en barrios periurbanos y en localidades rurales, los habitantes requieren la realización de pozos absorbentes para la disposición de sus efluentes domiciliarios. Este tipo de pozos cavados tienen diferentes características, algunos son más profundos (incluso en contacto con la superficie freática) o más anchos, otros tienen cámaras sépticas o decantadores ubicados previamente, así como algunos son construidos teniendo en cuenta la ubicación de la perforación para bombeo. El desagote de los pozos sépticos puede ser realizado por particulares que luego deben llevar los efluentes a la planta de OST para su tratamiento. Durante los recorridos por los distintos sitios de estudio, los vecinos atestiguaron que en muchos casos el contenido de estos camiones es vertido directamente sobre arroyos, ya sea el Langueyú en la ciudad de Tandil o el Chapaleofú en Gardey y María Ignacia.

Otro grupo de participantes de la gestión, proveniente tanto del ámbito local como externo al partido de Tandil, está conformado por las empresas que comercian y distribuyen agua y bebidas envasadas. A partir de la preocupación social en los últimos años por la calidad del recurso, tanto de red pública como de pozos particulares, el consumo de bebidas envasadas se ha incrementado, al mismo tiempo que la adquisición y utilización domiciliaria de equipos purificadores de agua a pequeña escala.

Por otra parte, las actividades productivas están involucradas con un rol de gran importancia en el manejo del agua. Este grupo incluye las industrias, actividades agropecuarias, minería, turismo y servicios en general. Las industrias, algunas agrupadas en el Parque Industrial Tandil ubicado al NO de la ciudad y otras dispersas en el ejido urbano, en muchos casos generan efluentes y residuos que requieren tratamientos especiales, pero que muchas veces son dispuestos junto a los efluentes domiciliarios.

Las actividades agrícolas desarrolladas a lo largo del partido realizan la aplicación de agroquímicos que pueden afectar la calidad del recurso y además lo utilizan para el riego de algunos cultivos, tal como la producción de papa que será abordada en más detalle en el apartado 4.6.1 de esta Tesis.

Asimismo, la ganadería, sobre todo en su modalidad intensiva, constituye una actividad con impacto real y potencial sobre el agua subterránea y superficial. En el caso particular de los tambos, y

como se abordará en el apartado 4.6.2, se requiere la utilización de grandes volúmenes de agua subterránea para el funcionamiento de la actividad.

La actividad minera en Tandil ha tomado relevancia en los últimos años, sobre todo desde la creación de un área protegida en el partido, como se detallará a continuación en el apartado 4.2, que puso de manifiesto la necesidad de conservar el sistema serrano que constituye la cabecera de las cuencas que nacen en el partido.

El turismo, por su parte, es una de las actividades con mayor desarrollo económico en la última década. La construcción de alojamientos y emprendimientos gastronómicos y recreativos se ha extendido por el partido, especialmente en el ámbito periserrano debido a su belleza paisajística. Estas actividades demanda el recurso hídrico en zonas donde su extracción es compleja. Además, requieren en muchos casos de tratamientos de efluentes a escala de emprendimiento para lograr su habilitación, hecho que es llevado adelante en muy pocos casos.

Otro participante relacionado con el Municipio de Tandil, cuya actividad tiene influencia sobre la preservación del agua subterránea, es la empresa CLEAR S.R.L. encargada de la disposición de los residuos sólidos urbanos en el relleno sanitario de la ciudad de Tandil.

Ante la degradación de la calidad del agua y sus potenciales impactos sobre la salud humana, toma parte otro tipo de actores, tanto del ámbito público como privado, que incluye a los establecimientos y profesionales de la salud. En el ámbito público, pueden citarse el Hospital Municipal Ramón Santamarina, el Hospital de Niños Dr. Debilio Villegas, y las Salas de Atención Primaria a la Salud que se distribuyen en los barrios de la ciudad.

#### **4.1.3 Nivel político-social**

En el nivel político-social, coexisten representantes del ámbito público y el privado. Entre los primeros se incluyen los Centros Comunitarios, los concejales y los legisladores, todos ellos de carácter formal. Los segundos están representados por las Comisiones Vecinales y los medios de comunicación. Las Comisiones Vecinales pueden ser informales, ya que en su mayoría no constituyen asociaciones civiles con personería jurídica.

De gran relevancia son los Centros Comunitarios barriales, que cuentan con trabajadores sociales y en muchos casos son intermediarios entre el ámbito gubernamental y los habitantes. Su participación es activa en la gestión, debido a que se encargan de realizar y difundir campañas de concientización sobre enfermedades hídricas. Además, en muchos casos distribuyen cloro para la desinfección de tanques y cañerías, y organizan charlas o encuentros con profesionales sobre la prevención de dichas enfermedades.

Como se comentará en el apartado 4.2, en diversos sectores periurbanos que carecen de los servicios sanitarios, los habitantes se agrupan en Comisiones Vecinales para realizar sus reclamos por la red de agua potable. Para ello cuentan con representantes que se encargan de la gestión política de sus

necesidades, y se contactan con concejales municipales y legisladores provinciales y nacionales para que hagan llegar sus reclamos a las máximas autoridades correspondientes.

En relación a los conflictos por el agua, y a todas las cuestiones hídricas de Tandil en general, los medios de comunicación tanto escritos como radiales tienen un rol muy importante. Se encargan de difundir información sobre nuevas obras de infraestructura de saneamiento, dan cuenta de problemas de acceso o calidad del recurso, difunden los reclamos de los habitantes, entre otros aspectos.

#### 4.1.4 Nivel científico-ambiental

La participación del ámbito científico en la gestión del agua en Tandil recae sobre la Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires e incluye diversos grupos de investigación vinculados a la hidrología, en relación al estudio de cuencas, la provisión del recurso para el consumo humano, la agricultura o la ganadería y en los aspectos ambientales. Además, dicha Universidad realiza actividades de extensión y transferencia vinculadas a distintos sectores sociales y económicos del partido.

Tabla 8. Actores involucrados en la gestión del agua en Tandil.

Organismos, entidades y particulares	Características	Nivel de gestión
Municipio de Tandil	Interno. Ámbito público	Normativo y de control
Obras Sanitarias Tandil (OST)	Interno. Ámbito público	
Entes gubernamentales provinciales y nacionales (Ejemplos: ADA, OPDS, ENHOSA, COHIFE, SsRH)	Externo. Ámbito público	
Establecimientos de Salud	Interno. Ámbitos público y privado	
Cooperativa de provisión de agua potable	Interno. Ámbito privado	
Comisiones vecinales	Interno. Ámbito privado	Político-social
Centros Comunitarios barriales	Interno. Ámbito público	
Concejales municipales	Interno. Ámbito público	
Legisladores nacionales y provinciales	Externo. Ámbito público	
Medios de comunicación locales	Interno. Ámbito privado	
Usuarios particulares	Interno. Ámbito privado	Económico-productivo
Empresas comercializadoras de agua y bebidas	Interno y/o externo. Ámbito privado	
Actividades productivas (Turismo, agricultura, ganadería, industria, minería, servicios en general)	Interno y/o externo. Ámbito privado	
Empresas de desagote de pozos absorbentes	Interno. Ámbito privado	
Perforistas y constructores de pozos	Interno. Ámbito privado	
Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires	Interno. Ámbito público	Científico-ambiental

## 4.2 CONFLICTOS Y MOVILIZACIONES EN RELACIÓN AL USO DEL AGUA

Como se adelantó al presentar el problema de investigación, en el partido de Tandil han existido manifestaciones sociales relacionadas a la accesibilidad al agua y a las deficiencias en su calidad.

En este apartado, describiremos tres movilizaciones sociales ocurridas en los barrios Cerro Los Leones, Don Bosco y el paraje La Elena. Los dos primeros sitios constituyen casos de estudio de la presente Tesis, en los que se han evaluado otros aspectos de la problemática; en cambio el paraje La Elena no ha sido considerado en detalle y se analiza solamente la manifestación social en relación al recurso hídrico.

En la Figura 12 se localizan los tres sectores y se muestran las principales rutas que atraviesan en partido de Tandil: Ruta Nacional N° 226 y Rutas Provinciales N° 74 y N° 30. Como se detalló en el apartado 1.9.3 del Marco legal, la zona comprendida entre dichas rutas conforma un área denominada “la poligonal” que fue declarada Paisaje Protegido de Interés Provincial mediante la Ley N° 14.126/2010.

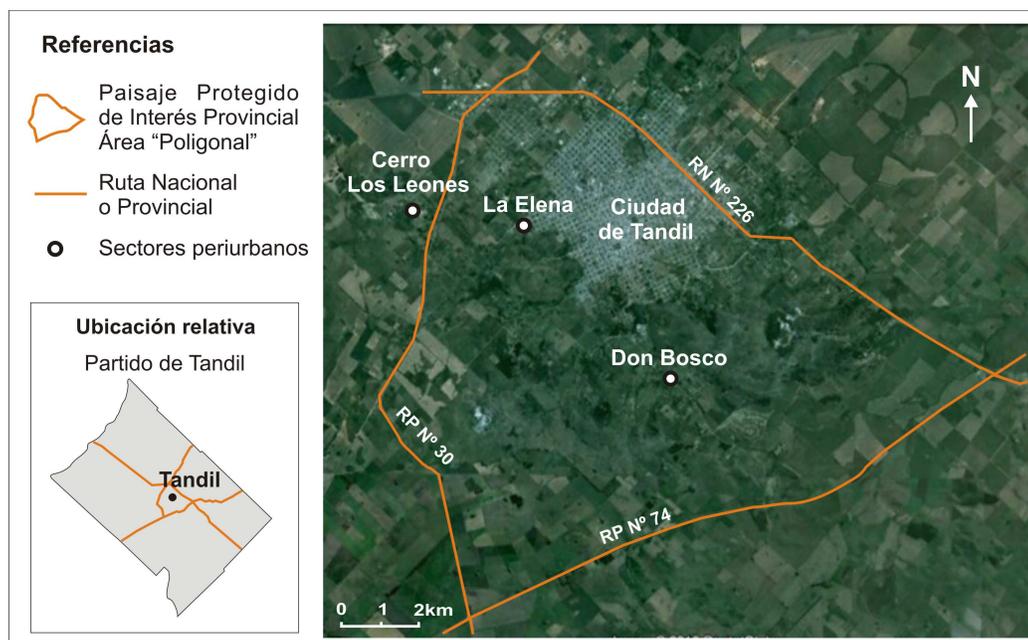


Figura 12. Ubicación de las movilizaciones sociales por el acceso al agua potable.

Si bien la Ley nació ante el conflicto social por la actividad minera y el pedido del cierre y traslado de las canteras, avanza en la necesidad de elaborar un Plan de Manejo Ambiental para la poligonal, a efectos de preservar el área. El Organismo Provincial para el Desarrollo Sostenible (OPDS) de la provincia de Buenos Aires, como autoridad de aplicación, solicitó en 2011 la colaboración de la UNICEN para la elaboración del Plan de Manejo Ambiental. Participaron investigadores, docentes y becarios, entre ellos la autora de esta Tesis, quienes aportaron conceptos e ideas clave para la formulación del Plan. En

ese sentido, la OPDS también convocó la realización de talleres participativos, en los que diferentes organizaciones sociales y vecinos se acercaron a manifestar sobre distintas problemáticas ambientales que afectan a Tandil. Entre ellos, algunos hicieron llegar su preocupación por el acceso al agua potable en distintos sectores periurbanos. Sin embargo, un grupo de vecinos que asistieron a los talleres mostraron su disconformidad con la modalidad de participación, debido a que no hubo lugar para el debate abierto, sino que los talleres se caracterizaron por la exposición de especialistas en distintos temas, a lo que se sumó la ausencia de autoridades con poder de decisión (Diario La Voz de Tandil <sup>5</sup>).

A continuación se analizan los conflictos y movilizaciones sociales relacionados al acceso al agua en Tandil, acorde a los lineamientos propuestos por Guerrero *et al.* (2012).

En primer lugar, se destaca que en los tres casos los conflictos se focalizan en el agua subterránea como valor ambiental en juego, ya que constituye el único recurso para el abastecimiento humano. En los tres sectores la población no se encontraba abastecida del servicio de agua de red al momento del desarrollo del conflicto.

Además, los puntos se ubican sobre el ambiente periserrano, donde las características hidrogeológicas del Sistema de Tandilia generan dificultades para la extracción del agua, debido principalmente al escaso espesor sedimentario y la presencia del basamento cristalino a pocos metros de profundidad. Simultáneamente, en los tres casos no existen sistemas de recolección y tratamiento cloacal, generando una importante carga contaminante para el medio subterráneo.

#### **4.2.1 Barrio Cerro Los Leones**

Este barrio, popularmente llamado Cerro Leones, se encuentra ubicado 6 km al SO de la ciudad y cuenta con aproximadamente 500 habitantes y en expansión debido a la realización de loteos y a la fuerte presión inmobiliaria que afecta a toda la ciudad y alrededores. Los vecinos del barrio comenzaron a movilizarse reclamando el acceso al agua potable en el año 2007, ante los antecedentes de contaminación microbiológica del recurso subterráneo y casos de parasitosis posiblemente vinculados al mismo. Por entonces iniciaron el contacto con el Ente Nacional de Obras Hídricas de Saneamiento (ENOHSA) para gestionar la obra de agua. Simultáneamente, la autora de esta Tesis inició su investigación a nivel de Maestría específicamente en este sector periurbano (Rodríguez, 2010), cuyos resultados principales se retomarán en el ítem 4.5.1.

En la Tesis de Maestría se demostró que el agua no era apta para consumo humano, a lo que se sumó el descenso del nivel freático debido a las bajas precipitaciones en 2008, que ocasionó el secado de numerosas perforaciones particulares. Fue en aquel momento que los vecinos conformaron una Comisión barrial y dieron más fuerza a sus reclamos. Los resultados obtenidos en la Tesis de Maestría y las

---

<sup>5</sup> Diario La Voz de Tandil. 19/04/2012. Malestar por falta de autoridades con poder de decisión en el debate.

primeras publicaciones sobre la problemática, constituyeron aportes fundamentales para los reclamos de la Comisión, quienes los incluyeron en sus presentaciones ante las autoridades.

En 2009 el ENOHSA presentó el proyecto Proarsa (Programa de Asistencia en Áreas con Riesgo Sanitario) incluyendo el acceso de agua al barrio Cerro Los Leones, mediante la extensión de cañerías desde el Parque Industrial Tandil donde existen perforaciones de Obras Sanitarias Tandil. El mismo proyecto involucraba la obra para el paraje La Elena que se aborda a continuación. En abril del mismo año se licitó la obra que fue adjudicada a la empresa Ecosur Bahía. Sin embargo, la ejecución quedó suspendida.

La movilización vecinal continuó, haciendo llegar sus reclamos a la prensa local y a las autoridades municipales, provinciales y nacionales, logrando que en febrero de 2010 se reactivara la obra. Tres meses después se encontraba finalizada y posibilitando la conexión a los pobladores.

#### **4.2.2 Paraje La Elena**

Este paraje es una urbanización relativamente reciente donde se ha densificado la construcción de residencias y emprendimientos turísticos en los últimos 20 años a partir del loteo de lo que fuera una estancia denominada La Elena (Guerrero *et al.*, 2012). Se caracteriza por la belleza del paisaje y las vistas hacia la ciudad.

El paraje está sujeto a problemas de accesibilidad al agua por su ubicación en las laderas de las serranías de Tandilia.

En 2010 un grupo de vecinos comenzó a reunirse formando una Comisión barrial que en forma inmediata planteó ante las autoridades municipales sus múltiples requerimientos, entre los que se destaca la provisión de agua a un creciente número de viviendas (Guerrero *et al.*, 2012). El reclamo tomó más fuerza cuando se concretó la obra en Cerro Los Leones, y aún no había avances para el paraje La Elena, considerando que el proyecto contemplaba la realización de ambas.

La Comisión comentó a la prensa local que el nivel freático había descendido al punto de producir el secado de perforaciones, argumentando que se debía al incremento poblacional en la zona y que el agua subterránea se estaba agotando. Además, conociendo la presencia de roca a poca profundidad en el subsuelo, los vecinos atestiguaron que se requiere hacer perforaciones cada vez más profundas para acceder al recurso, lo cual implica un alto costo financiero.

Además, muchos habitantes se abastecen de agua mediante camiones cisternas, servicio brindado por el Municipio de Tandil. Sin embargo, dicho camión acude sólo una vez por semana, y en caso de lluvias no llega debido a los caminos intransitables.

Durante 2012, la comisión vecinal no cesó sus reclamos, participando incluso de la Banca XXI del Concejo Deliberante de Tandil. En noviembre del mismo año, el diputado provincial Mauricio D'Alessandro presentó un recurso de amparo ante la justicia nacional solicitando la realización de la obra

de red de agua para el paraje La Elena. En diciembre del mismo año, el “*Juez Federal Carlos Furnari a cargo del Juzgado Nacional en lo Contencioso Administrativo Federal N° 2 indicó en su resolución que la Dirección de Obras Sanitarias de Tandil, el Municipio de Tandil y el ENOHSA, dentro del marco de sus respectivas competencias y a la mayor brevedad posible, deberán arbitrar los medios necesarios a fin de que los vecinos de La Elena tengan acceso a la red de agua potable, salubre y aceptable, para uso personal y doméstico*” (LU22 Radio Tandil <sup>6</sup>).

En junio de 2013 ante la ausencia de respuestas, los vecinos nucleados en la Comisión vecinal volvieron a movilizarse ante el Municipio de Tandil, recibiendo como respuesta una serie de aclaraciones sobre las competencias de los distintos niveles gubernamentales respecto a la problemática del agua. A la fecha de presentación de esta Tesis, el conflicto sigue sin resolución.

Si bien el conflicto de La Elena es mucho más reciente y aún requiere tiempo y estrategias de movilización y protesta para su resolución, no obstante, es importante adelantar el caso como evidencia de un proceso al que no escapan otras áreas de expansión urbana sobre el pie de sierras a futuro (Guerrero, 2011).

#### **4.2.3 Barrio Don Bosco**

Este sector periurbano se ubica al sur de la ciudad, al pie de las sierras. Como se detallará más adelante en el apartado 4.5.2, en los últimos 10 años se ha producido el desarrollo urbano asociado a emprendimientos turísticos y residenciales. Al igual que en los dos casos anteriores, las características geológicas condicionan la extracción de agua en cantidad suficiente, sumado a los problemas de calidad por la ausencia de servicios sanitarios básicos.

Si bien existen evidencias de las dificultades en el acceso al recurso, como secado de pozos, necesidad de profundizar las perforaciones, compra de agua para llenar piletas, problemas de calidad bacteriológica y química, los vecinos aún no han organizado un reclamo en forma conjunta en este sentido. Cabe aclarar que algunos habitantes de la zona se han agrupado en la organización “Vecinos por un desarrollo sustentable” que reclama lo regulado en el Plan de Desarrollo Territorial, ya que afecta el uso potencial de sus tierras.

Esta organización asistió a los talleres realizados por OPDS en el marco del Plan de Manejo Ambiental. Entre sus reclamos difundidos en la prensa local argumentan que requieren obras para el abastecimiento de agua en la zona (LU22 Radio Tandil <sup>7</sup>).

---

<sup>6</sup> LU22 Radio Tandil. 28/12/2012. La Justicia ordenó que los vecinos de La Elena tengan agua a la brevedad posible.

<sup>7</sup> LU22 Radio Tandil. 25/08/2011. “Vecinos por un desarrollo sustentable” piden reglas claras e igualdad ante la ley.

#### 4.2.4 Análisis conjunto

En el análisis conjunto de los tres casos, se detecta que el conflicto ambiental surge por la dificultad de acceder al agua subterránea, tanto por las condiciones hidrogeológicas como por el incremento en el número de perforaciones y volúmenes extraídos. Además, se suma el hecho de que el recurso en muchos casos no cumple los requerimientos de calidad para consumo humano, lo cual *a priori* estaría vinculado con el vertido de efluentes domiciliarios en pozos absorbentes.

La situación genera que los habitantes de cada sector deban adquirir agua envasada, utilizar el servicio de camiones cisternas, o conseguirla de la red municipal de la ciudad.

Ante esta situación, son numerosos los participantes implicados en los conflictos, entre los que se destacan los vecinos, las comisiones barriales, Municipio de Tandil, Obras Sanitarias Tandil, ENOHSA, empresas de agua envasada, perforistas, personas vinculadas a actividades turísticas, legisladores provinciales, Estado nacional, medios periodísticos locales.

Asimismo, el análisis permite observar que en los últimos años la comunidad ha generado diferentes estrategias de organización social tendientes a acceder al sistema de agua de red, entrando en conflicto con las autoridades en sus distintos niveles.

La movilización de cada grupo es distinta, incluyendo casos de vecinos que realizan los reclamos mediante organizaciones ya existentes hasta la creación de nuevos grupos a partir de preocupaciones de carácter explícitamente ambiental como “Vecinos por un desarrollo sustentable” (Guerrero *et al.*, 2012).

De los tres casos analizados, sólo ha sido resuelto el del barrio Cerro Los Leones, destacándose el rol del Estado Nacional que llevó adelante el abastecimiento de agua en 2010.

Cabe enfatizar que estos conflictos dan cuenta de la escasa participación de los actores sociales en las instancias gubernamentales de decisión, así como de la ausencia de planificación y ordenamiento territorial previos a la urbanización y desarrollo de estas zonas.

### 4.3 FUENTES Y CARGAS CONTAMINANTES DEL AGUA SUBTERRÁNEA

A continuación se presentan las principales fuentes y cargas contaminantes que afectan actual o potencialmente al recurso hídrico subterráneo, clasificadas por su origen agropecuario, urbano o industrial, siguiendo los lineamientos de la investigación realizada por Banda Noriega *et al.* (2008) donde participó la autora de esta Tesis.

Se realiza una descripción de la naturaleza y en algunos casos una estimación cuali –cuantitativa de las mismas.

### 4.3.1 De origen urbano

En el ámbito urbano, se destaca como fuente contaminante el vertido de efluentes domiciliarios *in situ*. En los sectores desprovistos de red cloacal se realiza la disposición de los efluentes domiciliarios en pozos absorbentes. Dichos pozos constituyen un foco de contaminación puntual, que además en muchos casos se encuentran directamente en contacto con la superficie freática por el escaso espesor de la zona no saturada presente en el ámbito de llanura del área de estudio. En los casos que la cantidad de pozos absorbentes es elevada y están distribuidos en amplias zonas, la contaminación puede considerarse areal o difusa.

Tomando como base las estimaciones realizadas por Banda Noriega *et al.* (2008) se actualizaron los valores estimados de generación de efluentes domiciliarios según datos censales de INDEC (2010). Se consideró un caudal medio de generación de aguas residuales establecido como guía por la Organización Mundial de la Salud (OMS, 1988) de 200 litros/habitante por día. De ese modo, se estimó el caudal que la población no servida con red cloacal del partido de Tandil devuelve al acuífero freático en pozos absorbentes. El total de habitantes alcanza 123.871 y el 25,34% no posee sistema cloacal (INDEC, 2010), que corresponde a 31.339 habitantes. Entonces, el caudal aportado al subsuelo estimado es de 6.267.800 litros/día, que equivale a 6.267,8 m<sup>3</sup>/día. Partiendo de los valores establecidos para efluentes domiciliarios por Metcalf & Eddy (1994), y considerando el caudal estimado para la población no servida de 6.267,8 m<sup>3</sup>/día, se calcularon las cargas para cada parámetro en kg/día (Tabla 9).

Tabla 9. Estimación de cargas contaminantes vertidas en pozos absorbentes.

Parámetro	Valor medio (g/m <sup>3</sup> )	Carga (kg/día)
Sólidos totales	720	4.512,8
Sólidos disueltos	500	3.133,9
Sólidos suspendidos	220	1.378,9
DBO <sub>5</sub>	220	1.378,9
DQO	500	3.133,9
Fósforo (P) total	8	50,1
Nitrógeno (N) total	40	250,7

Otra fuente de contaminación del agua de origen urbano la constituye la disposición de residuos sólidos domiciliarios. En la ciudad de Tandil, la disposición final se realiza en un relleno sanitario ubicado al noroeste de la ciudad que funciona desde 1998 y está concedido por el Municipio de Tandil a la empresa CLEAR S.R.L. Antes de 1988 los residuos fueron dispuestos en un área contigua sin ningún tipo de tratamiento o prevención. El relleno ocupa 13 hectáreas, de las cuales 11 son las aprovechables para los residuos (a una tasa de ocupación aproximada de una hectárea por año). El caudal de lixiviados originados en el relleno sanitario es de 8 m<sup>3</sup>/día. Las características químicas más relevantes son las altas cargas de demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>), demanda química de oxígeno (DQO) y sólidos totales

disueltos. Existe una recirculación de parte del caudal de lixiviado al relleno que ingresa como un sistema de riego sobre todo en verano y el resto una vez tratado se descarga a un canal influente hacia el arroyo Langueyú (Banda Noriega *et al.*, 2008). Por su parte, en la localidad de María Ignacia (Estación Vela) los residuos sólidos urbanos se disponen en un basural a cielo abierto sin tratamiento. Este sitio de disposición final se ubica a 1.000 metros del ejido urbano y ocupa una superficie de 14.000 m<sup>2</sup>.

#### **4.3.2 De origen agropecuario**

Como se indicó previamente en la caracterización del área de estudio, en el partido de Tandil las actividades agrícolas y ganaderas tienen un rol predominante ocupando el 89,6% de la superficie (INDEC, 2002).

La aplicación de fertilizantes y agroquímicos en la agricultura puede generar contaminación difusa de las aguas subterráneas con una gran extensión superficial. La modalidad de uso consiste en una aplicación por año de plaguicidas en el caso de pasturas, mientras que en los cultivos se realizan entre 3 y 4 aplicaciones por año.

En el partido de Tandil, según el relevamiento realizado por integrantes del CINEA con la participación de la autora de la Tesis, la mayor cantidad de herbicidas e insecticidas se aplica en los cultivos de girasol (4,53 kg/ha) y de soja (3,59 kg/ha). En el caso del girasol, los herbicidas más utilizados son acetoclor, metolacoloro y trifluralina y los insecticidas de mayor uso monocrotofos o cipermetrina. En cambio, en la soja se emplea principalmente el herbicida glifosato y el insecticida metamidofos. El cultivo de maíz conlleva la aplicación de aproximadamente 3,5 kg/ha, incluyendo principalmente a los herbicidas atrazina y acetoclor y a los insecticidas deltametrina y lambdacialotrina. El trigo es el que requiere menor cantidad de agroquímicos (2,32 kg/ha), utilizando mayormente los herbicidas 2.4 D y metribuzin, y cipermetrina como insecticida (Banda Noriega *et al.*, 2008).

En el cultivo de papa, según la información provista por el ingeniero agrónomo Carlos Herrera, existe una amplia variedad de agroquímicos utilizados y sus aplicaciones son diferentes dependiendo de las características de los lotes, las condiciones meteorológicas y las decisiones de cada productor. Sin embargo, el profesional entrevistado indicó que en general se aplican dos fertilizantes principales: fosfato diamónico (entre 350 y 450 kg/ha) y urea (entre 150 y 200 kg/ha). Con respecto a los agroquímicos, se utilizan diversos fungicidas e insecticidas. Entre los primeros se destacan Mancozeb (25 kg/ha), Acrobat (2,5 kg/ha), Infinito (1,5 kg/ha), Prestige (2,5 L/ha), Celest (800 ml/ha), Bogard o Tebuconazole (600-700 ml/ha), Amistar Top (600 ml/ha). Mientras que los insecticidas incluyen las siguientes aplicaciones: clorpirifos (2,1 L/ha), abamectina (1,5 L/ha), dimetoato (1,2 L/ha), Engeo (400 g/ha), Decis Forte (160 ml/ha), Karate Zeon (100 ml/ha).

No existen estudios detallados sobre la presencia de agroquímicos en aguas subterráneas del partido de Tandil. Sin embargo, de acuerdo con el análisis preliminar a partir de 6 muestras dentro del

partido realizado por Ruiz de Galarreta y Banda Noriega (2004) no se registró la presencia de agroquímicos en el ambiente subterráneo. No obstante, se debería analizar un mayor número para su representatividad y monitorear particularmente los compuestos que presentan alta movilidad y persistencia.

Por otra parte, las actividades ganaderas intensivas, como lo son la cría y engorde intensivo en *feed lots* y los tambos, posibilitan la existencia de fuentes de contaminación puntual. La carga contaminante está formada por excretas animales en grandes volúmenes. En el caso de los tambos, y como se detallará más adelante en el apartado 4.6.2 de esta Tesis, los efluentes líquidos son evacuados en cavas o sobre el terreno, las que en muchos casos atraviesan la zona no saturada y entran en contacto directo con la superficie freática.

El efluente de los tambos tiene dos componentes principales: las excretas y el agua. La cantidad de excreta generada por animal es variable y depende de varios factores, tales como la estacionalidad de la producción, el tiempo de permanencia de los animales en el área de ordeño, la cantidad de alimento consumido, entre otras. Asimismo, el volumen utilizado también es variable, e incluye el consumo en la limpieza de la sala de ordeño y corral de espera, las aguas pluviales, el uso para el enfriamiento de la leche, y también en el lavado de tanques y máquina de ordeño y de ubres. El valor internacionalmente considerado estándar como consumo de agua de limpieza diario es de 50 litros/vaca de ordeño (MGAP, 2008). Por otra parte, Nosetti *et al.* (2002a) estimaron el volumen consumido en tambos de la provincia de Buenos Aires, determinando un valor medio de 32.144 L/día. Dicho valor incluye el agua utilizada en el enfriamiento de la leche, que fue estimada en unos 7 litros por cada litro de leche producida, y también el consumo en el lavado del corral, de la sala y las máquinas de ordeño, y de las ubres.

### **4.3.3 De origen industrial**

Como se anticipó en el Capítulo 3 Área de estudio, Tandil cuenta con un Parque Industrial que nuclea la mayor parte de las industrias aunque otras siguen funcionando en zona urbana.

De acuerdo a estudios antecedentes desarrollados en el CINEA, se evaluaron las cargas originadas en el Parque Industrial de Tandil. Ruiz de Galarreta *et al.* (2004) evaluaron parámetros en los efluentes líquidos industriales que incluyeron: DBO<sub>5</sub>, aceites, fenoles, sulfuros, cianuros, zinc, cromo. Los autores determinaron que el riesgo de contaminación al acuífero subterráneo correspondió predominantemente a un nivel elevado y en menor medida moderado en relación a la vulnerabilidad de los diferentes sectores.

En particular la industria de fundición en Tandil ha sido y es uno de los ejes productivos de crecimiento de la ciudad. Incluye industrias de fundición de metales, principalmente hierro y acero, en menor medida aluminio, cobre y bronce, también se realiza fundición de hierro gris y acero. El principal residuo generado por estas industrias lo constituyen las arenas de moldeo y noyería (CEPIS, 1996), alcanzando entre el 66% y el 88% del total de residuos de la actividad. Este tipo de residuos están

generados por una serie de insumos utilizados para la elaboración de moldes dentro de los cuales se incluyen: aglomerantes, arenas prerrevestidas, pinturas, pastinas, endurecedores, desmoldantes, elastizantes en tierras de moldeo. Los aglomerantes son los insumos que se incorporan en mayor proporción a la arena silíceo y los más utilizados son fenol formaldehído, alquídico uretano, fenólico uretano, Mogul, bentonita, alcohol y estearina (Banda Noriega *et al.*, 2008)

En Tandil, este tipo de residuos se vertieron históricamente en forma no controlada en cavas de canteras y ladrilleras, así como en terrenos bajos. Actualmente se continúa con este tipo de disposición final. Según Banda Noriega *et al.* (2008) la generación mensual de arenas de fundición alcanza entre 2.500 y 3.000 toneladas.

Miguel *et al.* (2009) determinaron un riesgo extremo de contaminación del agua subterránea en uno de los principales vertederos de arenas de fundición. En ese sitio, detectaron incrementos en la salinidad del agua y el contenido de nitratos aguas abajo de la zona de vertidos, respecto aguas arriba. Se pone de relevancia el estudio de la disposición de este tipo de residuos por el peligro potencial de contaminación al recurso subterráneo.

Además, existen otras cargas contaminantes de origen industrial que afectan al medio, entre las que se destacan las descargas que realizan un grupo de industrias sobre el arroyo Langueyú, específicamente una vez que éste cruza la Ruta Nacional N° 226 (Figura 6). En esa zona el arroyo recibe descargas de efluentes de diversas industrias y de las plantas de tratamiento de aguas residuales urbanas.

Si bien el arroyo es naturalmente efluente respecto al acuífero freático, suelen manifestarse relaciones inversas como la influencia del curso superficial respecto al subterráneo debido a la intensa explotación por parte de las perforaciones de Obras Sanitarias Tandil (Ruiz de Galarreta *et al.*, 2007). Esta situación representa un riesgo de contaminación lineal al acuífero.

Los mataderos y frigoríficos ubicados en Tandil también contribuyen en la generación de cargas contaminantes. Según Banda Noriega y Díaz (2008) las faenas alcanzan entre 1.300 y 3.200 animales mensuales, generando entre 2.300 y 5.800 m<sup>3</sup>/mes de efluentes líquidos con altas concentraciones de DBO<sub>5</sub> y Nitrógeno. Los tratamientos de efluentes consisten en sedimentaciones y lagunas facultativas y aeróbicas y las descargas son efectuadas al arroyo Langueyú.

Por otra parte, las industrias lácteas de elaboración de quesos y dulce de leche localizadas en Tandil producen efluentes cuyos caudales oscilan entre 120 y 450 m<sup>3</sup>/mes y poseen elevadas concentraciones de DBO<sub>5</sub> (Banda Noriega y Díaz, 2008). Los tratamientos son similares a los anteriormente descriptos y las descargas son efectuadas en el arroyo Langueyú y también en suelo.

#### **4.4 USO Y GESTIÓN DEL AGUA EN LA CIUDAD DE TANDIL**

En este apartado se describe el uso y la gestión del agua en la ciudad cabecera del partido. En primer lugar se presenta una breve reseña histórica, incluyendo su provisión y el tendido cloacal, y posteriormente se describe el actual sistema de abastecimiento llevado adelante por Obras Sanitarias Tandil (OST).

##### **4.4.1 Reseña histórica de la gestión del agua en la ciudad de Tandil**

La fundación de la ciudad de Tandil en 1823 se situó en el interfluvio de los arroyos del Fuerte y Blanco, tributarios del Langueyú. La expansión urbana avanzó desde entonces ocupando la cuenca alta del arroyo Langueyú.

En el partido de Tandil, el suministro de agua para consumo humano y otras actividades de la población urbana y rural, ha sido históricamente a partir del recurso subterráneo. Por su parte, el arroyo Langueyú y sus tributarios no han sido utilizados como fuente para consumo, producto de su escaso caudal, siendo sus usos principales el recreativo y como receptor de efluentes.

Antes de la existencia de servicios sanitarios públicos, los habitantes se abastecían de agua individualmente a través de jagüeles contruidos cavando hasta alcanzar el nivel freático, aljibes en los que se colectaba agua de lluvia o bien perforaciones con bombeadores o bombas de mano. Los sistemas de desagüe domiciliario se conformaban únicamente por pozos absorbentes y letrinas. En diversos sectores periurbanos y en el ámbito rural aún continúan utilizándose estos sistemas de captación domiciliaria y de vertido de efluentes, como se analiza en el presente capítulo.

En la ciudad de Tandil se realizaron las primeras tres perforaciones en el año 1913, en un terreno situado cerca de la confluencia de los arroyos Blanco y del Fuerte, en el actual predio de OST (Figura 15). En julio de 1936 se iniciaron las obras de construcción de la red de agua en la ciudad. Las perforaciones efectuadas por la entonces Dirección General de Minería alcanzaron un total de cinco ubicadas en el predio de OST, se tendieron cañerías y se construyó una torre tanque para el abastecimiento de la zona céntrica, que en aquella época se encontraba limitada por los cauces de los arroyos mencionados. Fue necesaria la ejecución de un rebombeo para la zona alta de la ciudad. Cuatro años más tarde fue inaugurado el servicio de agua corriente.

Fue así que en los primeros años de la década de 1940 la cantidad de perforaciones ascendió a siete, ubicadas dentro del ejido urbano y a una corta distancia entre ellos (150 metros). Dichas perforaciones aún continúan en explotación, brindando caudales muy importantes, incluso superando los 120 m<sup>3</sup>/h (Ruiz de Galarreta *et al.*, 2010). La expansión del ejido urbano entre las décadas de 1940 a 1960, profundizó los procesos de ocupación del lecho de inundación de los arroyos y la impermeabilización del sustrato. Así, luego de varios eventos de precipitaciones intensas, los terrenos

bajos fueron ocupados por las aguas de escorrentía provocando la inundación de extensos barrios de la ciudad, principalmente en el sector NE.

Ante tales eventos, se hicieron obras hídricas entre las que se destaca la construcción en 1958 del Dique del Fuerte (Figura 15) finalizado en 1961. El mismo funciona como un dique regulador que embalsa las aguas del arroyo homónimo. Además de actuar como dissipador de energía del agua superficial y retardar la salida natural, actualmente el lago tiene una función turístico-recreativa muy importante en la ciudad. El lago posee una superficie aproximada de 19 hectáreas y una profundidad promedio de 0,80 metros (Ruiz de Galarreta *et al.*, 2010). Asimismo, se realizaron obras de entubamiento de los tributarios del arroyo Langueyú. En primer lugar se comenzó por el arroyo del Fuerte en 1973 y se continuó en el arroyo Blanco en 1980-81. Dichas obras posibilitaron que la población ocupara terrenos más allá de los límites de los cauces.

Si bien en sus inicios los servicios de agua de red y cloacas estaban a cargo de Obras Sanitarias de la Nación, en 1980 fueron transferidos a la Provincia de Buenos Aires que pocos meses después los transfirió al Municipio de Tandil. Actualmente, la Dirección de Obras Sanitarias pertenece a la Secretaría de Planeamiento y Obras Públicas del Municipio.

A medida que la ciudad crecía tanto en población como en superficie, las reservas de la torre tanque no eran suficientes y además se requería abastecer a zonas topográficamente más altas, dificultando el abastecimiento de agua por falta de presión. Considerando que el predio de OST donde se localizaban las primeras perforaciones tiene una cota de 176 msnm, se requirieron cañerías de diámetros mayores y sistemas de rebombes. Asimismo, las necesidades de proveer de agua a una población cada vez mayor, favoreció el aumento de la cantidad de perforaciones hacia el NE, alcanzando un total de 35 en el año 2006 y 44 en el año 2010 (Figura 15).

Con respecto al servicio de desagüe cloacal, a cargo también de OST, las obras comenzaron en 1958 y se inauguró la primera planta depuradora en 1967, ubicada en el predio del ente municipal, sobre la calle Dinamarca (Figura 15). Para el año 1982, el 52% de la población que habitaba el ejido urbano contaba con agua corriente y el 20% con servicio cloacal (Latella, 2006).

Ante la colmatación de la capacidad operativa de la primera planta de tratamiento que ocasionaba el vuelco de fluentes sin tratar al arroyo Langueyú, sumado al continuo crecimiento poblacional, surgieron necesidades de nuevas infraestructuras de saneamiento. Fue así que en abril de 2010 se inauguró la segunda planta de tratamiento cloacal de la ciudad de Tandil, ubicada en el barrio Villa Aguirre, al NE de la ciudad (Figura 15). Además, a fines de 2010 se realizó la ampliación de la planta cloacal antigua, que contaba con dos líneas de tratamiento, incorporando una tercer línea. Esta ampliación significó un aumento del 60% en la capacidad operativa de la planta (Diario La Voz de Tandil <sup>8</sup>). En 2012

---

<sup>8</sup> Diario La Voz de Tandil. 14/12/2010. Mejoramiento integral del predio de la planta depuradora de cloacas.

se inició la construcción de una tercera planta de tratamiento cloacal, específicamente para el barrio La Movediza (Figura 15), que a la fecha de presentación de esta Tesis aún no ha entrado en funcionamiento.

Una cuestión a destacar es que el sistema de alcantarillado de la ciudad es separativo, es decir no incluye las aguas pluviales. Sin embargo, existen conexiones clandestinas que generan situaciones extremas en la Planta de tratamiento en los momentos de intensas precipitaciones, forzando la descarga directa al arroyo (Ruiz de Galarreta *et al.*, 2010).

Analizando en conjunto la cobertura de ambos servicios sanitarios, un relevamiento realizado por la Secretaría de Obras y Servicios Públicos del Municipio de Tandil indica que en el año 2010 la población de la ciudad de Tandil abastecida por agua de red alcanzaba el 96%, mientras que el 79% accedía al sistema cloacal (Diario El Eco de Tandil <sup>9</sup>). Dichos datos son levemente superiores a los surgidos del último Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas (INDEC, 2010), cuyo relevamiento indica que en el partido de Tandil del total de 43.155 hogares, el 93,16% acceden al agua mediante la red pública municipal, mientras que el 6,55% lo hace mediante perforaciones y pozos. Algunos hogares la obtienen mediante camiones cisternas, alcanzando el 0,26% y sólo el 0,03% lo hace mediante otras fuentes como agua de lluvia, río, canal o arroyo. Asimismo, según INDEC (2010), el 73,53% del total de hogares relevados posee conexión al sistema cloacal para el vertido de efluentes domiciliarios. El 25,34% utiliza pozos absorbentes, de los cuales el 15,33% no posee cámara séptica. El porcentaje restante de los hogares utiliza baños tipo letrina o similares.

La representación gráfica de ambas coberturas de agua y cloacas actualizada al año 2012, en base a información brindada por el Municipio de Tandil, se presenta en las Figuras 13 y 14.

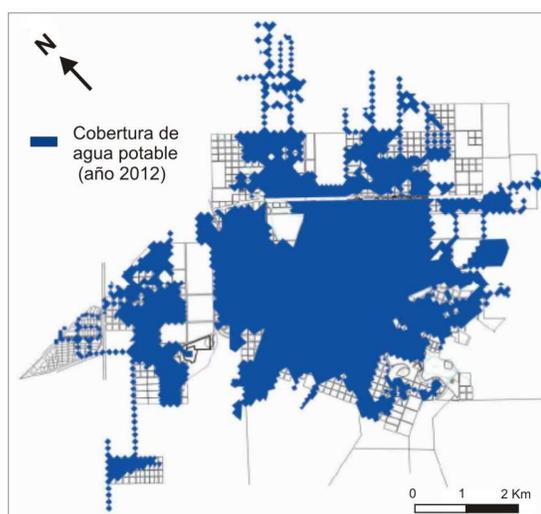


Figura 13. Cobertura de agua potable, año 2012.

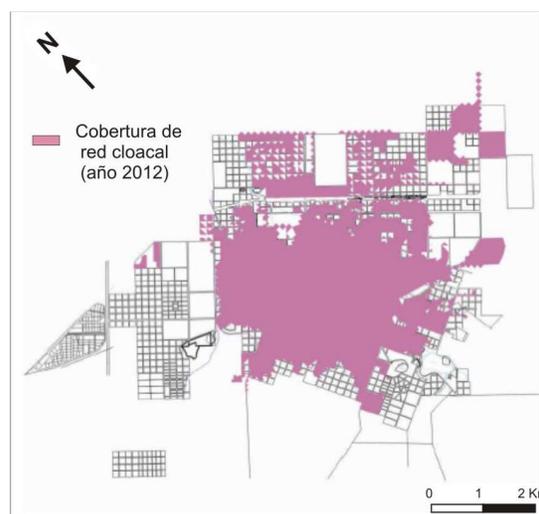


Figura 14. Cobertura de red cloacal, año 2012.

<sup>9</sup> Diario El Eco de Tandil. 08/02/2010. En la ciudad de Tandil, el 96 por ciento de la población accede al agua y el 79 a las cloacas.

#### 4.4.2 Abastecimiento de agua potable y gestión del recurso en la ciudad

En este apartado se describe el sistema de abastecimiento de agua potable de la ciudad de Tandil. Incluye la extracción, almacenamiento, tratamiento y distribución del recurso en la red domiciliaria.

Según información recabada en la Secretaría de Planeamiento y Obras Públicas del Municipio, en la actualidad existen 48 perforaciones de explotación en uso, necesarias para abastecer a la población urbana. También existen 2 perforaciones en desuso.

La Figura 15 presenta la información actualizada al año 2012 tanto de las perforaciones de explotación como la infraestructura de tratamiento cloacal. Como se observa en dicha Figura, un importante número de perforaciones se ubican en el predio de OST, que son las más antiguas, y en terrenos linderos. En cambio, las que se encuentran alineadas en dirección NE fueron las últimas en ser realizadas. El agua subterránea continúa siendo extraída mediante los pozos más antiguos antes mencionados.

La profundidad de las perforaciones varía entre 50 y 70 metros y su diámetro es normalmente de 22 pulgadas (55 cm). Las perforaciones poseen cañería de encamisado desde la superficie hasta los 18 a 25 metros de profundidad. El espacio anular que queda entre la cañería camisa y las paredes del pozo está sellado con cemento. Los filtros son de tipo ranura continua y de acero inoxidable. Poseen además un prefiltro de grava, ubicado en el espacio anular. Las bombas sumergibles se ubican entre 20 y 36 metros de profundidad (Barranquero, 2005).

Se utilizan bombas sumergibles de 30 a 40 HP cuyos caudales oscilan entre 50 a 70 m<sup>3</sup>/h para el primer tipo de bombas y de 60 a 80 m<sup>3</sup>/h para el segundo. Se destacan por su mayor aporte dos pozos ubicados dentro del predio de OST (Nº 4 y 5) que poseen bombas de 60 HP y de los cuales se obtienen caudales de 123 y 124 m<sup>3</sup>/h, respectivamente (Ruiz de Galarreta *et al.*, 2010).

De acuerdo a datos suministrados por OST, el volumen máximo horario para el total de perforaciones alcanzaba en 2010 un valor de 2.860 m<sup>3</sup> (Ruiz de Galarreta *et al.*, 2010) lo que equivale a un bombeo máximo de 68.640 m<sup>3</sup>/día (25,05 hm<sup>3</sup>/año).

En este último aspecto resulta de interés relacionar dicho volumen de extracción con la magnitud de la recarga subterránea. Para ello, se consideró la precipitación media anual para Tandil de 838 mm (Tabla 5) y se tuvo en cuenta lo determinado por Barranquero *et al.* (2012a) quienes indican que la recarga en la cuenca alta del arroyo Langueyú, donde se ubica la ciudad de Tandil y sus perforaciones de extracción, es del 13 al 17% de las precipitaciones. Tomando como valor medio que el 15% de las mismas constituirían la recarga del sistema subterráneo, se obtiene un total de 125,7 mm/año de ingreso. Teniendo en cuenta que el sector de la cuenca alta del arroyo Langueyú considerada hasta la curva de nivel de 190 msnm que incluye a todas las perforaciones de OST, ocupa una superficie de 194,7 km<sup>2</sup>, el volumen de recarga subterránea para ese sector alcanzaría a 24,47 hm<sup>3</sup>/año.

Esta comparación permite determinar que el volumen máximo de extracción para el abastecimiento de la ciudad de Tandil ( $25,05 \text{ hm}^3/\text{año}$ ) es similar a la recarga subterránea estimada en la cuenca alta ( $24,47 \text{ hm}^3/\text{año}$ ), poniendo de manifiesto la presión a la que está sometido el recurso por su intensa y continua explotación. Se debe considerar que esta estimación es una simplificación porque no incluye otras actividades que extraen el agua subterránea a través de pozos particulares.

Por otra parte, ante la intensa extracción de agua realizada en el predio de OST cercano al arroyo Langueyú, Barranquero *et al.* (2008a) verificaron que dicho arroyo naturalmente efluente se convierte en perdedor en el sector de mayor densidad de pozos de explotación ubicados en el sector de confluencia de los tributarios del arroyo (Figura 15). Esta alteración se debe a la intercepción de conos de depresión, producto del intenso y continuo bombeo de los pozos de abastecimiento de OST. Esta situación provoca que el arroyo se constituya en una fuente lineal potencial de contaminación del acuífero. Según Ruiz de Galarreta *et al.* (2010) los descensos de nivel dinámico respecto al nivel estático en los pozos de OST fluctúan entre 9 y 23 metros.

Una vez que el agua es extraída de las perforaciones, el sistema de abastecimiento incluye tres fases: tratamiento, almacenamiento y distribución. Las características del sistema están condicionadas por los distintos niveles topográficos de la ciudad.

El tratamiento del agua se basa en la desinfección, mediante el agregado de hipoclorito de sodio inyectado por clorinadores, que se regulan dependiendo del caudal que circule por las cañerías, así como del contenido de cloro presente en las muestras tomadas en distintos puntos de la ciudad (Barranquero, 2005). Dicho tratamiento está totalmente vinculado a la distribución y almacenamiento, de modo tal que se realiza por separado en las distintas zonas.

Según se presenta en la Figura 16, el sistema de distribución tiene tres zonas principales:

- Zona Noreste (tanque bajo): es una zona baja, en la cual se ubica el predio de OST. Recibe el agua directamente de los pozos que están ubicados en el barrio Villa Aguirre (Figuras 15 y 16). Utiliza un tanque bajo para la distribución y abarca el abastecimiento a Villa Italia, Villa Aguirre, barrios Palermo y San Cayetano, y el sector comprendido al NE de las avenidas Colón y Marconi. El agua que no es utilizada en este sector, sigue su circulación por diversas cañerías hacia el predio de OST.

- Zona Centro (cisternas): comprende la mayor superficie y densidad poblacional de la ciudad, abasteciendo a toda la zona céntrica y los barrios Metalúrgico y Rodríguez Selveti (Figura 16). Utiliza la Torre tanque (Figura 15) como punto de regulación de las reservas de agua y también dos cisternas ubicadas al sur en el predio del Cementerio Municipal (Avenida Brasil) de  $5.500 \text{ m}^3$  cada una. Esta zona recibe el recurso de los pozos ubicado al noreste de Villa Aguirre y de aquellos localizados dentro y en cercanías del predio de Obras Sanitarias. A partir de este punto se realizan rebombeos (Figura 16) para abastecer a distintos sectores de la ciudad: a) Villa Cordobita, barrio Calvario y Villa Laza; b) Villa del Parque y barrio Las Tunitas; c) sector noreste donde se localiza el barrio Golf y la zona del Club UNCAS.

- Zona Parque Industrial: las dos perforaciones dentro del Parque Industrial abastecen a las industrias allí localizadas y a los barrios San Juan, Maggiori, La Movediza y Cerro Los Leones.

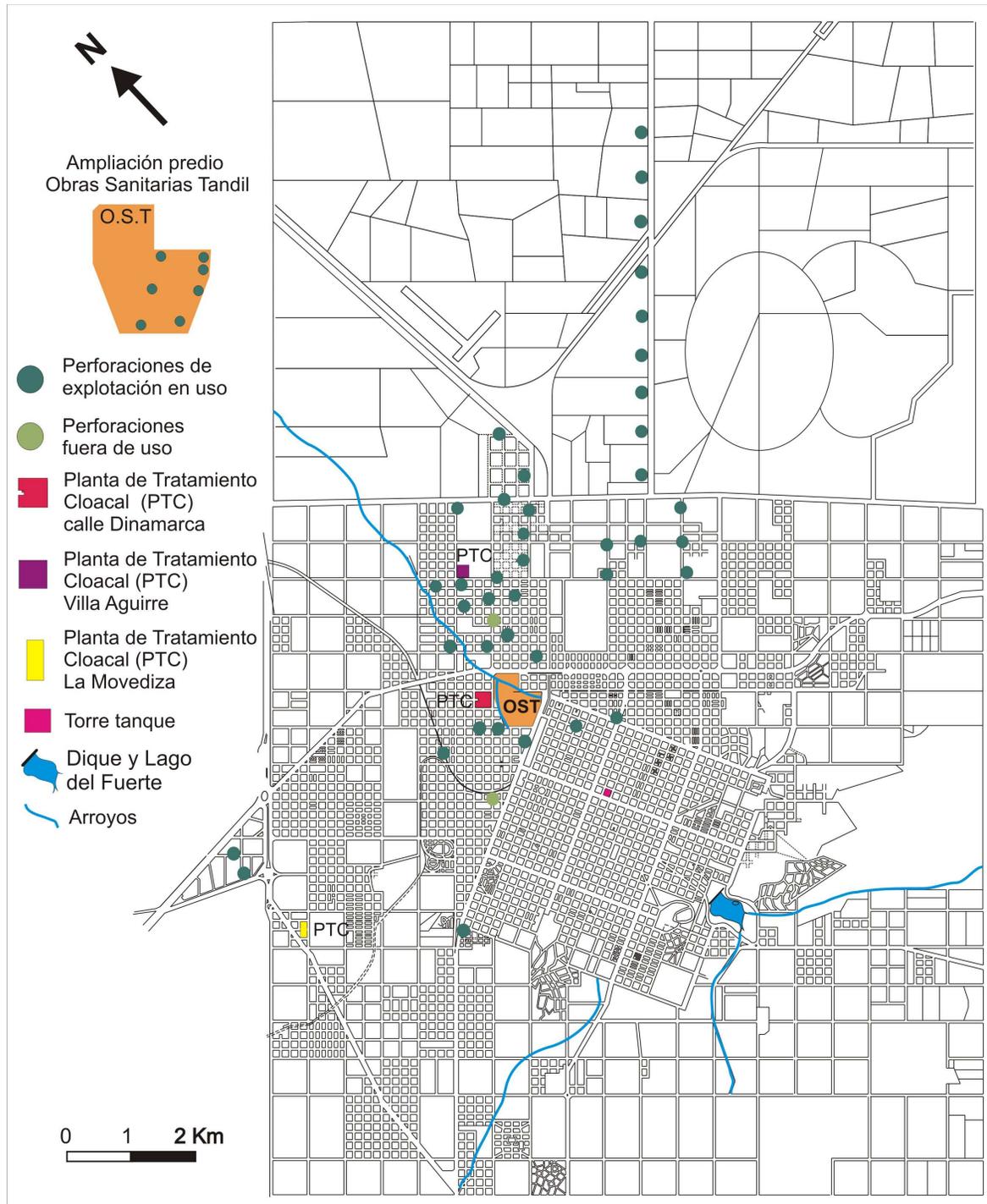


Figura 15. Perforaciones y plantas de tratamiento cloacal en la ciudad de Tandil.

Al inicio de la investigación para la Tesis Doctoral surgió el interés de conocer la situación en los barrios periurbanos que no contaban con los servicios sanitarios. Analizando las Figuras 13, 14 y 16 se observa la falta de cobertura de ambos servicios en los barrios San Cayetano, La Elena y Don Bosco. Asimismo, como se indicó anteriormente, el barrio Cerro Los Leones no contaba con agua de red al inicio de esta investigación, sino que fue abastecido en 2010, por lo cual ya se encuentra incorporado en las Figuras 13 y 16.

Esta situación, conjuntamente con la manifestación de conflictos y movilizaciones sociales, y los antecedentes de contaminación microbiológica del agua, conllevaron a la selección de los dos casos de estudio en zonas periurbanas, que son analizados en detalle en el apartado 4.5.

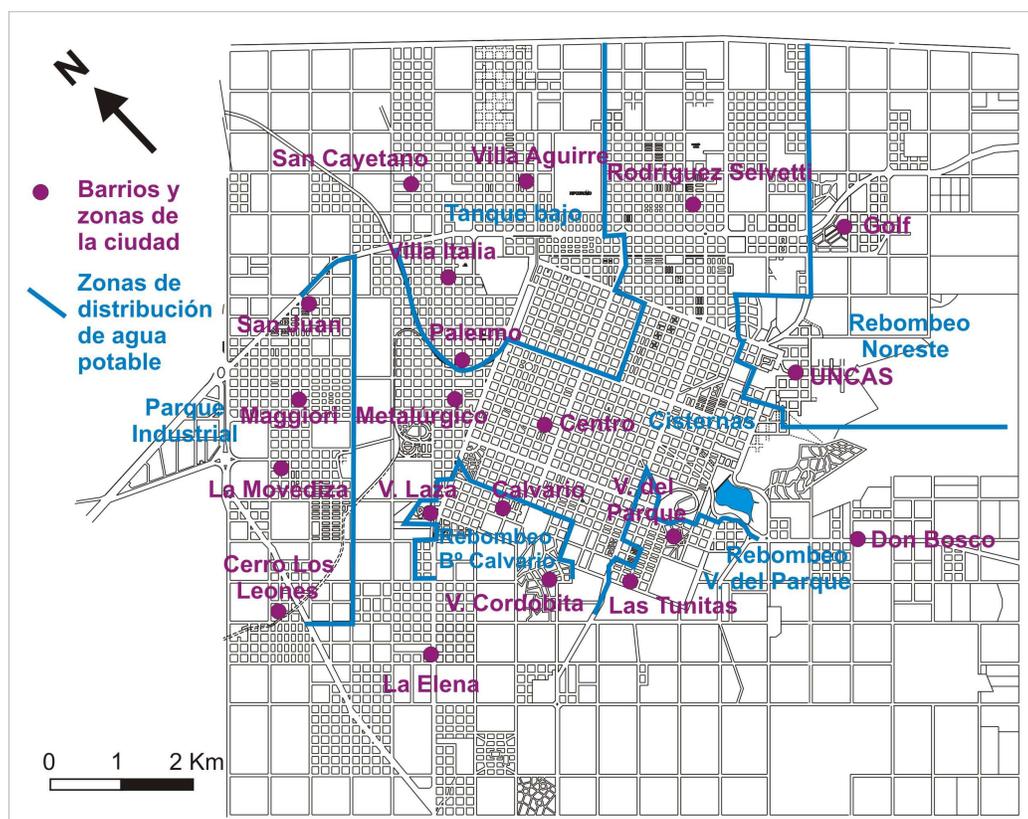


Figura 16. Principales barrios de la ciudad de Tandil y zonas de distribución de agua potable.

#### 4.4.3 Calidad del agua en la red pública

Como se describió en el apartado precedente, a lo largo de la distribución del recurso hídrico en la ciudad se producen mezclas en los tanques y cisternas provenientes de distintas perforaciones. Esta situación puede modificar su calidad química, debido a la combinación de aguas con distinta salinidad y diferentes concentraciones de iones.

En ese sentido, Barranquero (2005) analizó la conductividad eléctrica (CE) y las concentraciones de nitratos en los pozos de abastecimiento de OST en campañas realizadas en 2003 y 2004. Los resultados del muestreo en 2003 brindaron valores de CE entre 620 y 1.290  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y concentraciones de nitratos entre 39 y 160 mg/L. En 2004, la CE osciló entre 495 y 1.285  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , mientras que los nitratos alcanzaron valores entre 22 y 150 mg/L. Los tenores superiores a 90 mg/L de nitratos correspondieron a las perforaciones más antiguas, ubicadas en el predio de OST y terrenos cercanos. Varias de las perforaciones ubicadas en Villa Aguirre (Figuras 15 y 16) presentaron concentraciones superiores a 55 mg/L.

Considerando que el Código Alimentario Argentino recomienda un máximo de 45 mg/L de nitratos en aguas de consumo humano, cabe señalar que sólo en cuatro de las perforaciones de OST el agua subterránea tenía un contenido igual o inferior al recomendado, según el estudio realizado por Barranquero (2005).

A efectos de actualizar esta información, en junio de 2011 se efectuó un muestreo de agua de red en la ciudad de Tandil. Debido a la imposibilidad de acceder a las perforaciones de Obras Sanitarias en ese momento, las muestras fueron tomadas en domicilios particulares. Esto significa que representarán los valores resultantes de las mezclas de distintas perforaciones, como se explicó previamente.

Se tomaron 27 muestras distribuidas en la ciudad (Figura 17), en las que se midió CE, concentraciones de nitratos y cloro residual. La Tabla 10 presenta los resultados ordenados según la zona de distribución de agua a la que corresponde la muestra.

Con respecto a la CE, se observa que la mayoría poseen valores que oscilan entre 700 y 800  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . El promedio fue de 780  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Sin embargo, se destaca el elevado valor de CE de la muestra N° 10, con 1.089  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

De la Tabla 10 se obtiene que en gran parte de la red urbana la concentración de nitratos fue superior a 45 mg/L, valor máximo recomendado para consumo humano en la legislación argentina (Apartado 1.9 Marco legal).

Solamente en dos casos correspondientes al Tanque bajo el contenido de cloro residual resultó acorde a lo recomendado por el Código Alimentario Argentino (0,2 mg/L) y en un sitio de la zona del Parque Industrial obtuvo el máximo valor con 0,7 mg/L. Por otra parte, las 24 muestras restantes no alcanzaron el nivel de cloro residual mínimo que asegure la desinfección del agua. Esta variabilidad en los valores de cloro puede verse afectada por las condiciones de higiene y mantenimiento de los tanques de almacenamiento dentro de cada domicilio.

Tabla 10. Resultados de CE, nitratos y cloro residual en agua de red municipal.

Sitio N°	Zona de distribución de agua	CE (μS/cm)	Nitratos (mg/L)	Cloro residual (mg/L)
3	Cisterna Centro	758	68,38	0,05
4	Cisterna Centro	783	71,28	Vestigios
5	Cisterna Centro	788	73,71	Vestigios
6	Cisterna Centro	795	40,20	0,07
7	Cisterna Centro	775	68,89	0,05
8	Cisterna Centro	767	68,78	0,02
9	Cisterna Centro	765	69,01	0,02
16	Cisterna Centro	758	73,10	Vestigios
17	Cisterna Centro	776	73,82	0,02
18	Cisterna Centro	745	62,87	Vestigios
19	Cisterna Centro	606	49,48	0,02
20	Cisterna Centro	761	71,85	0,02
27	Cisterna Centro	780	80,78	0,10
15	Rebombeo Villa del Parque	760	71,55	0,05
1	Parque Industrial	724	36,42	Vestigios
2	Parque Industrial	748	36,55	0,70
14	Parque Industrial	749	38,81	0,10
10	Tanque bajo	1.089	185,69	Vestigios
11	Tanque bajo	814	7328	0,20
21	Tanque bajo	846	78,25	0,20
22	Tanque bajo	798	58,93	0,15
12	Rebombeo barrio Calvario	790	74,34	0,05
24	Rebombeo barrio Calvario	757	76,91	Vestigios
23	Rebombeo NE	766	70,70	Vestigios
13	Rebombeo NE	778	73,74	0,07
25	Rebombeo NE	801	76,57	0,03
26	Rebombeo NE	793	76,75	0,03

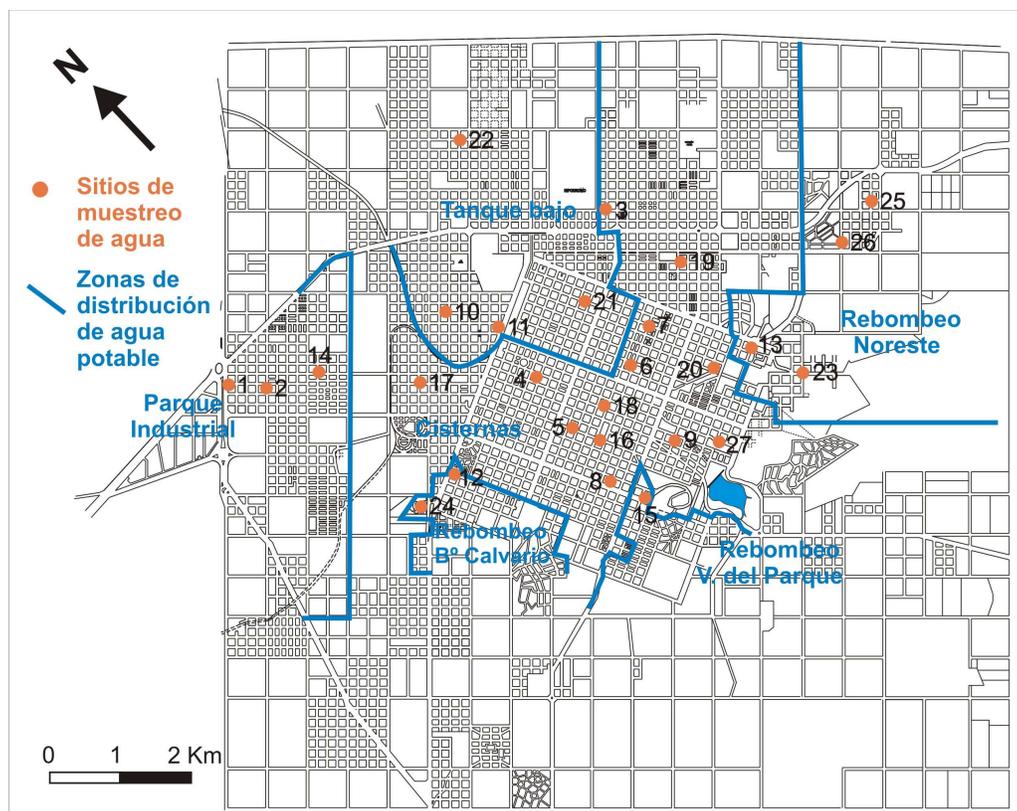


Figura 17. Muestreo de agua de red en la ciudad de Tandil. Junio 2011.

En base a los análisis por zonas de distribución de agua, se observa que:

- Cisterna Centro: de las 13 muestras de la zona, sólo una posee contenido de nitratos inferior al valor máximo recomendado. La N° 19 presentó un valor cercano, con 49 mg/L. Mientras que las 11 muestras restantes superan los 60 mg/L. El promedio brinda un valor de 67,09 mg/L de nitratos. Además, ninguna de las muestras del sector posee contenido de cloro residual necesario para garantizar la desinfección (0,2 mg/L).
- Rebombero Villa del Parque: si bien se tomó sólo una muestra en esta zona, su valor (71,55 mg/L) es coincidente con el promedio de nitratos en la Cisterna Centro de donde proviene.
- Rebombero barrio Calvario: en este sector se tomaron dos muestras, las que resultaron con 74,34 mg/L y 76,91 mg/L, respectivamente. Nuevamente se observa similitud en los valores de nitratos con respecto a los tenores en la Cisterna Centro.
- Rebombero Noreste: las cuatro muestras presentaron concentraciones en el orden de los 70 mg/L de nitratos. En este caso también existe concordancia en los valores de nitratos con respecto a los tenores en la Cisterna Centro, de la cual proviene el agua.
- Tanque bajo: se analizaron cuatro muestras, las cuales presentaron resultados muy disímiles entre sí, con un mínimo de 58,93 mg/L y un máximo de 185,69 mg/L. Los dos casos intermedios tuvieron 73,28 mg/L y 78,25 mg/L. Esta zona es la de mayor complejidad, ya que se abastece de

distintas perforaciones que extraen el recurso con concentraciones diferentes de nitratos y a medida que el agua recorre las cañerías provee con distinta calidad a los domicilios según su ubicación. Además, dos de las muestras cumplieron con el contenido de cloro residual recomendado.

- Parque Industrial: las tres muestras del sector presentaron los menores tenores de nitratos de toda la red de abastecimiento entre 36,42 mg/L y 38,81 mg/L. El contenido de cloro residual resultó distinto en los tres casos: uno alcanzó 0,7 mg/L y otros dos fueron inferiores al valor recomendado de 0,2 mg/L.

Como conclusión preliminar del apartado 4.4, cabe comentar que el crecimiento poblacional de Tandil demanda la necesidad de abastecer de agua a los habitantes tanto en cantidad como en calidad apropiadas.

Si bien la cobertura de la red pública es amplia y se ha visto incrementada en los últimos años, existen sectores periurbanos desprovistos de la misma. Una situación similar ocurre con el sistema cloacal.

Las perforaciones más antiguas se encuentran localizadas dentro del ejido urbano, donde históricamente se produjo la disposición de efluentes en pozos absorbentes. Además, en la zona del predio de Obras Sanitarias Tandil las perforaciones se ubican a distancias cortas entre sí, generando importantes descensos del nivel freático.

La calidad del agua de provisión municipal presentó contenidos de nitratos superiores al valor máximo recomendado por el Código Alimentario Argentino en cinco de las seis zonas de distribución de la ciudad en el año 2011, acorde a trabajos antecedentes.

#### **4.5 USO Y GESTIÓN DEL AGUA EN BARRIOS PERIURBANOS Y EN LOCALIDADES RURALES**

En este apartado se analiza la gestión del agua en los sectores de estudio investigados. Se detalla para cada uno: los modos de uso y el manejo actual del recurso, la hidrodinámica subterránea local y la calidad. Además, en dos sectores se abordan las principales transformaciones territoriales ocurridas en los últimos años.

#### 4.5.1 Barrio Cerro Los Leones

Como se anticipó en la Metodología, este apartado retoma y analiza algunos de los resultados obtenidos en la Tesis de Maestría de la autora de la presente investigación. Se ha considerado importante la inclusión de este caso de estudio porque contribuye a comprender y evaluar el uso y la gestión del agua subterránea en el partido de Tandil.

La ubicación del barrio Cerro Los Leones se presenta en la Figura 18.

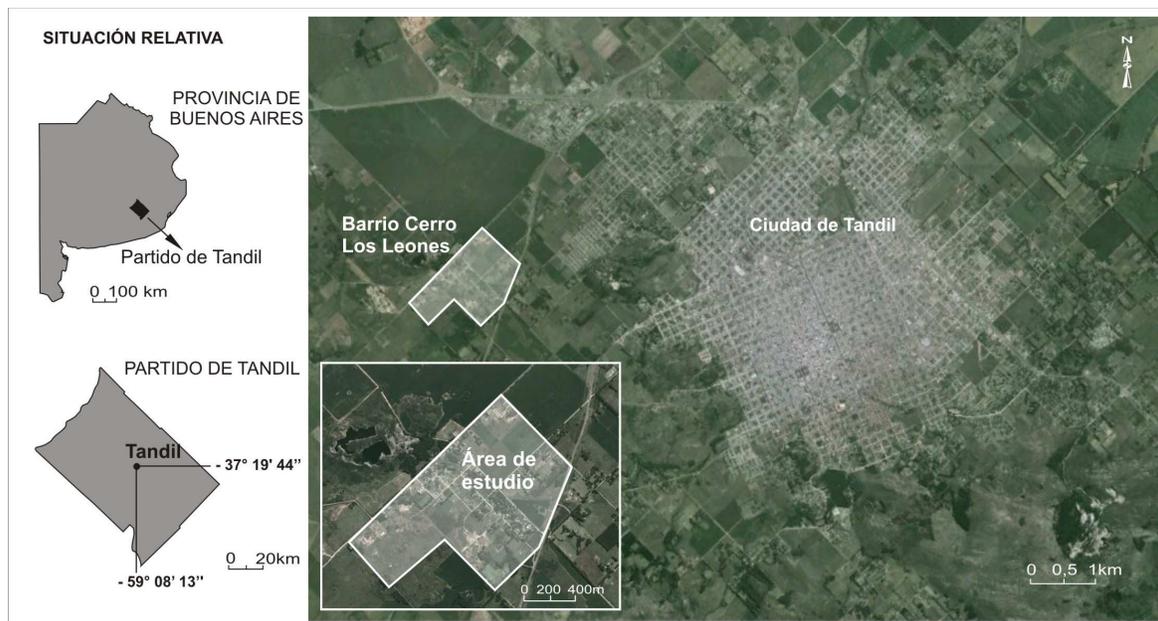


Figura 18. Ubicación del sector de estudio barrio Cerro Los Leones.

Como se indicó previamente en el apartado 4.2.1, el conocimiento de la problemática hidrológica mediante el desarrollo de la Tesis de Maestría, que aquí se presenta sucintamente, sentó la base científica favoreciendo el pedido y la movilización de los vecinos en pos del reclamo por el abastecimiento de agua potable.

En relación a esto, cabe destacar que desde el año 2008 este barrio se caracteriza por el poblamiento creciente debido a la escasez de terrenos libres en la ciudad de Tandil, sumado a los valores inmobiliarios más accesibles en esta zona. A partir de 2010, el abastecimiento de agua en la zona generó un nuevo impulso a la adquisición de lotes y construcción de viviendas. En 2013, se evidencia una ocupación progresiva, acompañada por un aumento de valores inmobiliarios acorde a lo que sucede en la ciudad de Tandil y alrededores.

#### 4.5.1.1 Modos de uso y gestión del agua subterránea

Según Rodríguez (2010) la problemática de uso del agua en el barrio periurbano Cerro Los Leones se caracterizó por la utilización de perforaciones y pozos antiguos, de profundidades inferiores a los 20 metros, con importantes deficiencias en su diseño y construcción. Incluso, por encontrarse el basamento cristalino a escasa profundidad, algunas viviendas tuvieron dificultades para acceder al recurso subterráneo, requiriendo el abastecimiento mediante camiones cisterna o la necesidad de utilizar los pozos de las viviendas vecinas.

En la Tabla 11 se detallan las características de las perforaciones que constituyeron la red de medición y muestro, cuya distribución se presenta en la Figura 23.

Con respecto a los focos contaminantes que real o potencialmente afectaban a las perforaciones, se destacó la ubicación de pozos absorbentes a distancias cortas de las fuentes de agua (en el 82% de los casos consultados esa distancia resultó inferior a 25 metros), sumado a la posibilidad de ingreso de agua u otras sustancias por las bocas de pozo, y a la presencia de animales y disposición de residuos en las cercanías de la perforación.

Tabla 11. Características de perforaciones y pozos de la red de muestreo en Cerro Los Leones.

Sitio N°	Antigüedad	Características de diseño y protección	Cercanía a focos contaminantes
1	Antigua	Perforación. Profundidad de 8 metros. Sin encamisado. Cobertura superficial inadecuada. Bombeador en superficie	Se ubica a 8 metros del pozo absorbente
2	Antigua (Figura 19)	Jagüel cavado. Profundidad de 13 metros. Sin encamisado. Sin cobertura superficial. Incorporación de bombeador en superficie.	Ubicado a 9 del pozo absorbente. Posible ingreso de agua y otros elementos por la boca del jagüel.
3	Antigua	Perforación. 9 metros de profundidad. Sin encamisado. Cobertura superficial inadecuada. Bombeador en superficie.	Ubicado a 8 metros del pozo absorbente. Presencia de animales en cercanías de la perforación.
4	Antigua (Figura 20)	Perforación. Profundidad de 8,5 metros. Sin encamisado. Inadecuada cobertura superficial. Bombeador en superficie.	Distancia al pozo absorbente de 8 metros
5	Antigua	Perforación. 8 metros de profundidad. Sin encamisado. Inadecuada cobertura superficial. Bombeador en superficie.	Distancia al pozo absorbente de 14 metros. Posible ingreso de agua y otros elementos por la boca del pozo.
6	Antigua	Perforación. Profundidad de 12 metros. Sin encamisado. Inadecuada cobertura superficial. Bombeador en superficie.	Ubicado a 3 metros del pozo absorbente.
7	Reciente	Perforación. Profundidad mayor a 22 metros. Sin encamisado. Cobertura superficial adecuada. Bombeador en superficie.	Distancia al pozo absorbente de 9 metros
8	Antigua (Figura 21)	Perforación. Profundidad de 17 metros. Encamisado. Cobertura superficial inadecuada. Bombeador en superficie.	Se ubica a 7 metros del pozo absorbente
9	Reciente	Perforación. Sin dato de profundidad. Encamisado. Cobertura superficial inadecuada. Bomba sumergible.	No se observaron focos contaminantes cercanos.

10	Antigua	Jagüel cavado. Profundidad de 14 metros. Sin encamisado. Cobertura superficial adecuada. Incorporación posterior de bomba sumergible.	Distancia al pozo absorbente de 9 metros.
11	Antigua	Jagüel cavado. Profundidad de 10 metros. Sin encamisado. Cobertura superficial inadecuada. Incorporación de bombeador en superficie.	Ubicado a 3 metros del pozo absorbente. Posible ingreso de agua y otros elementos por la boca del pozo.
12	Antigua	Perforación. Sin dato de profundidad. Sin encamisado. Cobertura superficial inadecuada. Bombeador en superficie	A 6 metros del pozo absorbente. Pérdida de aceite en el bombeador que puede ingresar a la perforación.
13	Antigua (Figura 22)	Perforación con Molino. Sin datos de profundidad. Sin encamisado. Inadecuada cobertura superficial.	Ubicado a 10 metros del pozo absorbente. Posible ingreso de agua y otros elementos por la boca del pozo. Presencia de animales en cercanías.
14	Antigua	Perforación. Sin datos de profundidad. Sin encamisado. Inadecuada cobertura superficial. Bombeador en superficie.	Distancia al pozo absorbente de 4 metros. Posible ingreso de agua y otros elementos por la boca del pozo.
15	Antigua	Perforación. Sin datos de profundidad. Sin encamisado. Inadecuada cobertura superficial. Bomba sumergible.	Se ubica a 12 metros del pozo absorbente. Presencia de residuos en cercanías a la perforación, entre ellos envases vacíos de agroquímicos.
16	Reciente	Perforación. Sin dato de profundidad. Encamisado. Adecuada cobertura superficial. Bomba sumergible.	No se observaron focos contaminantes cercanos.
17	Antigua	Perforación. Sin dato de profundidad. Sin encamisado. Inadecuada cobertura superficial. Bombeador en superficie.	Posible ingreso de agua y otros elementos por la boca del pozo.
18	Antigua	Perforación. Sin dato de profundidad. Sin encamisado. Inadecuada cobertura superficial. Bombeador en superficie.	Distancia al pozo absorbente de 8 metros. Ingreso de aceite desde el motor del bombeador.



Figura 19. Pozo N° 2.  
Barrio Cerro Los Leones.



Figura 20. Pozo N° 4.  
Barrio Cerro Los Leones.



Figura 21. Pozo N° 8.  
Barrio Cerro Los Leones.



Figura 22. Pozo N° 13.  
Barrio Cerro Los Leones.

#### 4.5.1.2 Hidrodinámica subterránea

Para la realización de los censos hidrométricos y muestreos de agua, se utilizó una red de 18 perforaciones particulares especificada en la Tabla 11 cuya ubicación se detalla en la Figura 23.

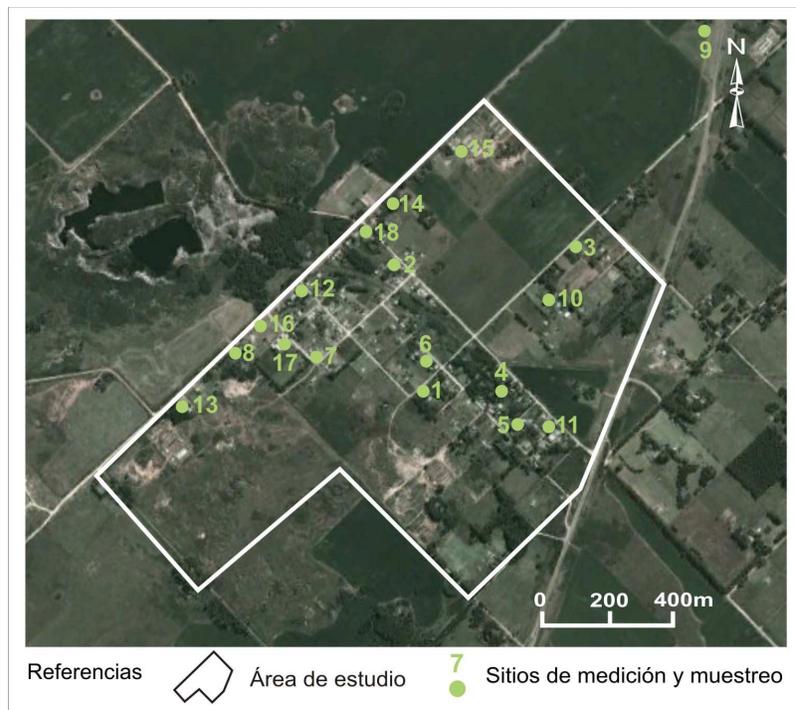


Figura 23. Sitios de medición y muestreo en el barrio Cerro Los Leones.

El análisis hidrodinámico desarrollado por Rodríguez (2010) determinó que el espesor de la zona no saturada varió entre 3 y 14 metros. La existencia de una zona no saturada de poco espesor genera una mayor vulnerabilidad del acuífero freático a la contaminación, sobre todo debida al vertido de efluentes domiciliarios en pozos absorbentes.

Como se presenta en la Figura 24, la dinámica subterránea en el barrio Cerro Los Leones se caracterizó por el movimiento del agua en concordancia con el flujo regional en sentido SO-NE. Las líneas equipotenciales demarcaron un flujo radial convergente desde las sierras hacia el barrio, con tendencia a volverse paralelo aguas abajo.

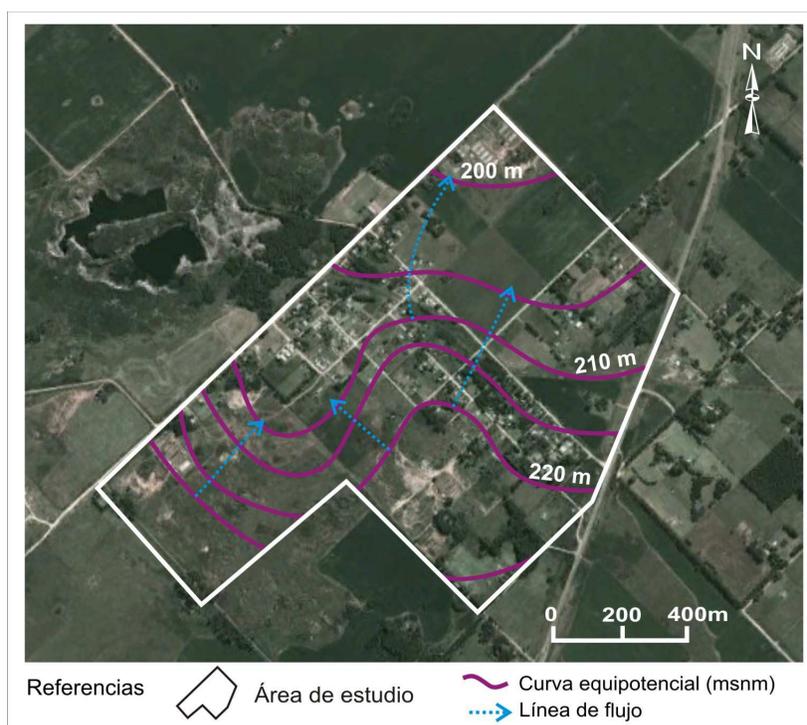


Figura 24. Mapa equipotencial para septiembre de 2007. Barrio Cerro Los Leones.

#### 4.5.1.3 Calidad del agua

Se tomaron muestras en la red de perforaciones y pozos en distintas fechas durante 2007 y 2008. Para dar cuenta de los principales resultados obtenidos por la autora en su Tesis de Maestría, se ha decidido presentar solamente los correspondientes a septiembre 2007.

A partir de los análisis de iones mayoritarios se pudieron clasificar las aguas como bicarbonatadas cálcicas-magnésicas. Con respecto a la CE, los resultados para septiembre de 2007 oscilaron entre 640 y 1.030  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y el promedio fue de 791,33  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Las concentraciones de nitratos oscilaron entre 17 mg/L y 118 mg/L en septiembre de 2007, alcanzando un promedio de 50,62 mg/L.

Se observó un importante incremento de la conductividad eléctrica y los tenores de nitratos en la zona más densamente poblada ubicada aguas abajo del flujo subterráneo local (Figuras 25 y 26).

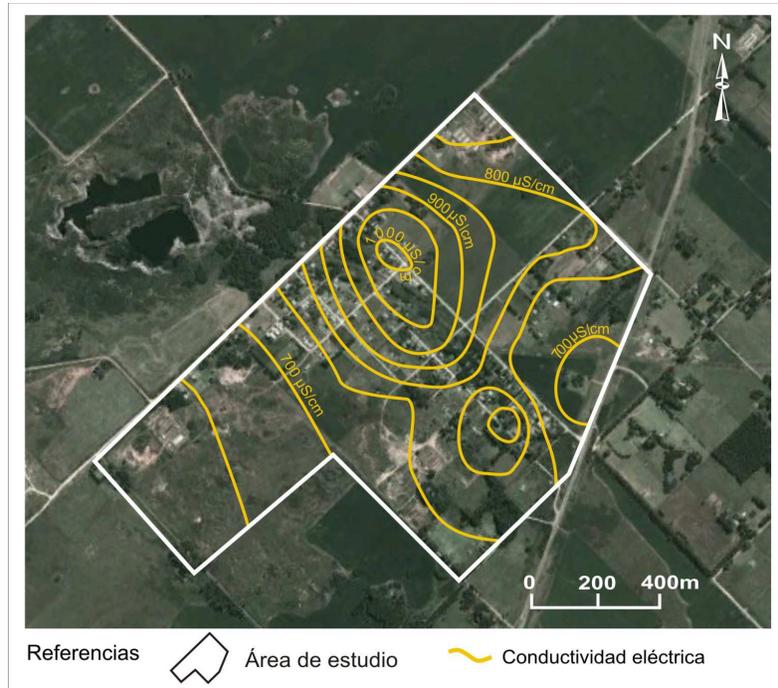


Figura 25. Mapa de isoconductividades para septiembre de 2007. Barrio Cerro Los Leones.

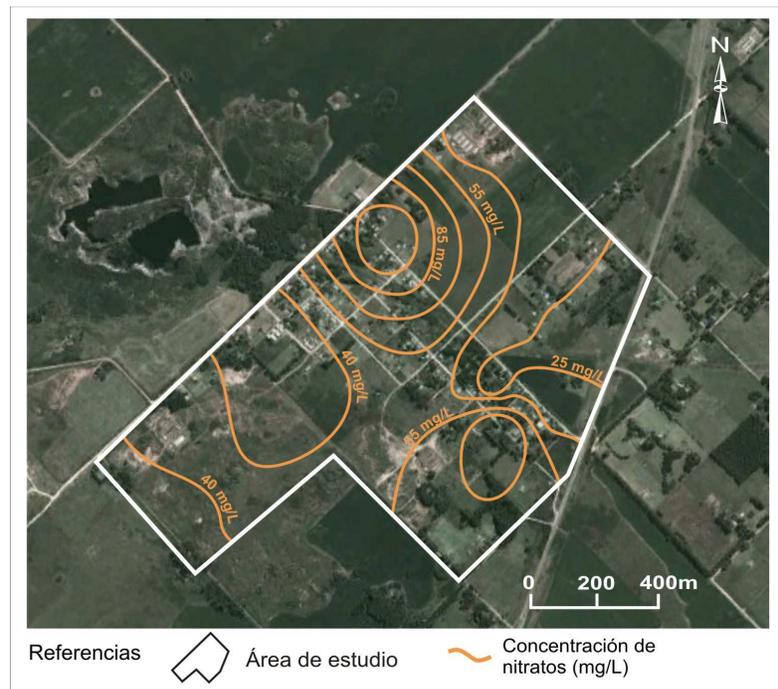


Figura 26. Mapa de isoconcentraciones de nitratos para septiembre de 2007. Barrio Cerro Los Leones.

Los análisis de nitratos y microbiológicos determinaron que el 40% superaron el valor máximo de nitratos admitido y el 78% resultaron no aptas microbiológicamente para consumo humano según el Código Alimentario Argentino. Esta situación permitió determinar que una importante proporción de la

población del barrio Cerro Los Leones utilizaba el recurso subterráneo con características no aptas para el consumo humano.

#### 4.5.2 Barrio Don Bosco

Esta zona carece de los servicios sanitarios de agua y cloacas, no obstante se encuentra en pleno desarrollo urbanístico favorecido por el loteo de nuevos terrenos y la ubicación de numerosos emprendimientos turístico-recreativos debido a la belleza paisajística del lugar. Hasta el momento de finalización de la presente investigación, este barrio continúa sin el abastecimiento de ambos servicios.

La Figura 27 exhibe la ubicación del barrio y la delimitación areal realizada a los efectos de la determinación de los usos del suelo y sus variaciones.

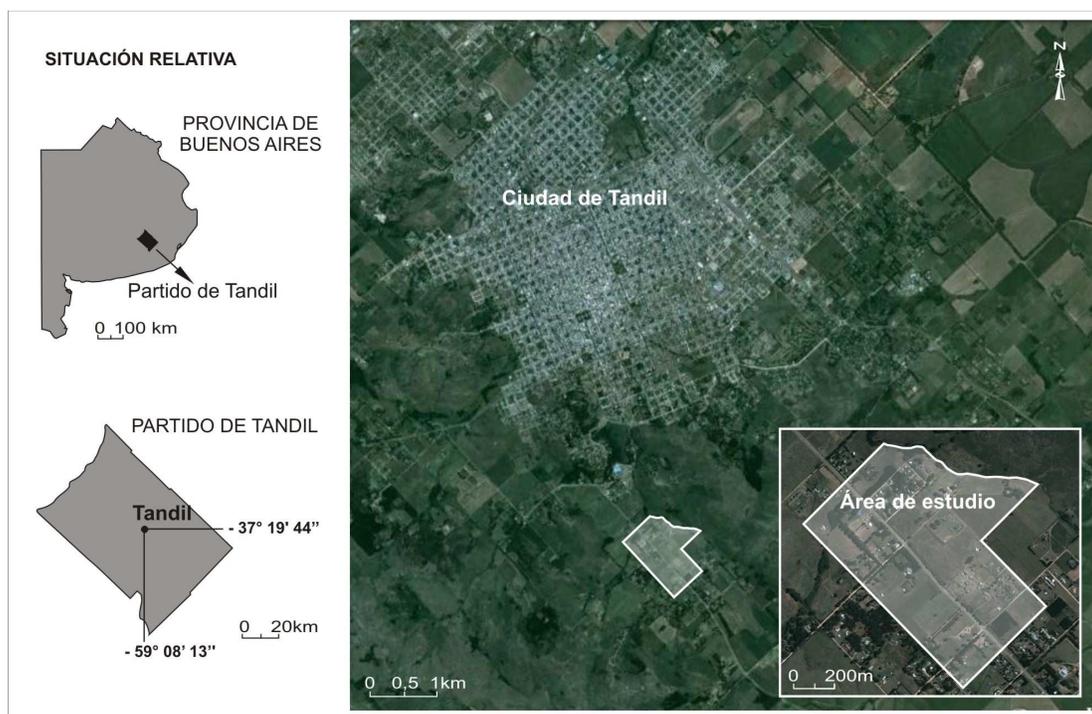


Figura 27. Ubicación del sector de estudio zona Don Bosco

Un estudio hidrogeológico precedente (CINEA, 2009) en una zona mayor que comprende al sector de estudio, determinó a partir del conocimiento del espesor del acuífero, que se trata de una zona extremadamente compleja para la explotación de agua subterránea, debido a que el relieve se encuentra controlado por el basamento cristalino muy cercano a superficie y en sectores aflorando, con un escaso espesor saturado de los sedimentos sobrepuestos, que limitan la transmisividad del sistema.

Esta información es relevante debido a la creciente ocupación del suelo en el sector, dada en parte por viviendas con piletas de natación y establecimientos turísticos que presentan picos de ocupación en períodos estivales y vacacionales.

#### 4.5.2.1 Modos de uso y gestión del agua subterránea

En el barrio periurbano Don Bosco el manejo del agua subterránea no está regulado ni coordinado por ningún organismo público o privado, sino que los habitantes realizan sus perforaciones y pozos para abastecimiento sin recibir controles ni solicitar permisos de perforación, como lo indica la legislación vigente. Asimismo, la existencia de efluentes domiciliarios en pozos absorbentes determina una elevada vulnerabilidad del recurso hídrico para el consumo humano y uso recreativo.

Las características de diseño y construcción de las perforaciones, así como la cercanía a pozos contaminantes, se detallan en la Tabla 12 y se ejemplifican en las Figuras 28 y 29. Se observa que la mayoría de las perforaciones y pozos tienen falencias en su construcción por la inadecuada protección superficial y/o por la carencia de cañería de encamisado o sellado.

En junio de 2008 la autora efectuó el primer recorrido por la zona relevando 21 perforaciones, de las cuales se seleccionaron 15 para conformar la red de medición y muestreo. Se realizaron cuestionarios a los propietarios de cada vivienda sobre sus condiciones de explotación y uso del agua subterránea.

Entre los 15 sitios visitados, coexisten antiguos pozos cavados y perforaciones recientes. Las profundidades varían entre 5 a 28 metros, siendo los pozos más profundos los de reciente construcción. Para extraer el agua se utilizan bombas sumergibles en el 50% de los casos, que coinciden mayormente con las perforaciones más recientes, mientras que en otros cuatro sitios se encontraron bombeadores automáticos en superficie, en tres se hallaron molinos y sólo una bomba manual.

La distancia entre las perforaciones y pozos respecto a los pozos absorbentes debería ser de 25 m o más de acuerdo a lo recomendado por el Consejo Federal de Agua Potable y Saneamiento (CoFAPyS, 1993). Sin embargo, en el 66,6% de los casos dicha distancia es inferior a 25 metros. Inclusive el 40% de los casos presentó una distancia inferior a los 15 metros.

Tabla 12. Características de perforaciones y pozos de la red de muestreo en Don Bosco.

Sitio N°	Antigüedad	Características de diseño y protección	Cercanía a focos contaminantes
1	Reciente. 2007	Perforación. 22 metros de profundidad. Encamisado. Sellado. Protección superficial adecuada. Bomba sumergida.	Chacra experimental (ex matadero y basural) ubicada aguas arriba. Ubicado a 26 metros del pozo absorbente.
2	1988	Jagüel cavado a pico y pala. 5 metros de profundidad. Protección superficial inadecuada. Bomba manual.	Ubicado aguas abajo respecto al flujo subterráneo local. Ubicado a 8 metros del pozo absorbente.
3	Reciente. 2007	Perforación. 8 metros de profundidad. Sin sellado. Protección superficial inadecuada. Bombeador en superficie.	Ubicado a 18 metros del pozo absorbente. Rodeado de animales domésticos. Ubicado aguas abajo respecto al flujo subterráneo local.

4	Antiguo. > 75 años	Jagüel cavado a pico y pala. 7 metros de profundidad. Con incorporación de bombeador en superficie. Protección superficial inadecuada.	Rodeado de animales domésticos. En el pasado cría de ganado porcino. Ubicado a 9 metros del pozo absorbente. Posible ingreso de agua y otras sustancias por la boca del pozo. Ubicado al N del área, aguas abajo respecto al flujo subterráneo local.
5	Antiguo	Pozo cavado a pico y pala. 5 metros de profundidad. Protección superficial inadecuada. Bombeador en superficie.	Ubicado aguas abajo respecto al flujo subterráneo local. A 12 metros del pozo absorbente.
6	Antiguo	Perforación. Protección superficial inadecuada. Bombeador en superficie. Sin dato de profundidad.	Ubicado al N del área, aguas abajo respecto al flujo subterráneo local. A más de 25 metros del pozo absorbente.
7	Incluye: a) Perforación reciente. b) Molino antiguo (Figura 28).	a) Perforación: Encamisado. Sellado. Protección superficial adecuada. Bomba sumergida. Sin dato de profundidad. (Se utilizó para la toma de muestras de agua). b) Molino: pozo cavado. Protección superficial inexistente. Profundidad de 18 metros. (Se utilizó para medir el nivel freático).	Cercano a una casa antigua abandonada con posible pozo ciego en desuso. Ubicado a 12 metros del pozo absorbente.
8	Antiguo (Figura 29)	Molino colocado sobre un pozo cavado a pico y pala. Protección superficial inadecuada. Pérdidas en las cañerías de agua.	En el predio funcionó un matadero hasta 1960, cuando pasó a ser un basurero municipal por varios años. En la actualidad, constituye una chacra experimental universitaria donde se crían animales. Posible ingreso de agua y otras sustancias por la boca del pozo. Ubicado a más de 25 metros del pozo absorbente.
9	Reciente	Perforación. Encamisado. Sellado. Protección superficial inadecuada. Bomba sumergida. Sin dato de profundidad	Ubicado aguas arriba del flujo regional. Distancia de 14 metros al pozo absorbente.
10	Incluye: a) Perforación reciente, 2008. b) Aljibe antiguo.	a) Perforación: 20 metros de profundidad. Encamisado. Sellado. Protección superficial adecuada. Bomba sumergida. (Se utilizó para la toma de muestras de agua). b) Aljibe: pozo cavado a pico y pala. Protección superficial inexistente. Profundidad de 6 metros. (Se utilizó para medir el nivel freático).	Perforación ubicada a 19 metros del pozo absorbente.
11	Reciente. < 10 años.	Perforación. 20 metros de profundidad. Encamisado. Sellado. Protección superficial adecuada. Bomba sumergida.	Ubicado al N del área, aguas abajo respecto al flujo subterráneo local. Distancia de 10 metros al pozo absorbente.
12	Antiguo	Molino colocado sobre un pozo cavado a pico y pala. Protección superficial inadecuada. Sin dato de profundidad.	Posible ingreso de agua y otras sustancias por la boca del pozo. Distancia de 17 metros al pozo absorbente.
13	Reciente. < 10 años.	Perforación. Encamisado. Sellado. Protección superficial inadecuada. Bomba sumergida. Sin dato de profundidad	Aguas abajo de un complejo de cabañas y obras en construcción. Posible ingreso de agua y otras sustancias por boca de pozo. Distancia de 22 metros al pozo absorbente.
14	Reciente. 5 años	Perforación. Encamisado. Sellado. Protección superficial adecuada. Bomba sumergida. Sin dato de profundidad	Ubicado aguas arriba del flujo regional. Distancia mayor a 25 metros respecto al pozo absorbente.

15	Reciente.	Perforación. Encamisado. Sellado. Protección superficial adecuada. Bomba sumergida. Profundidad 28 metros.	Distancia mayor a 25 metros respecto al pozo absorbente.
----	-----------	--	--



Figura 28. Molino Sitio N° 7.  
Barrio Don Bosco.



Figura 29. Molino Sitio N° 8.  
Barrio Don Bosco.

Se realizó una entrevista a una de las pobladoras más antiguas del barrio, Sra. Ada Guezi de Noli, la que comentó que en un terreno de la zona, donde actualmente funciona la chacra experimental de la UNICEN (Sitio N° 8), en la década de 1950 funcionó el matadero municipal, el cual arrojaba sus residuos y efluentes en el arroyo del Fuerte, el cual circula a pocos metros del sector de estudio. Pocos años después, el matadero cesó su actividad y en el predio se ubicó un basurero municipal a cielo abierto. Ante tal situación, los vecinos se agruparon para reclamar por los fuertes olores y moscas y después de dos años dejó de funcionar y se cedieron los terrenos a la Universidad. Es necesario tener en cuenta esta situación a la hora de analizar la calidad del recurso aguas abajo del sector mencionado.

Los habitantes informaron sobre distintas cuestiones relacionadas al uso del agua que dan cuenta de las crecientes dificultades para acceder a la misma a medida que se producen cambios en los usos del suelo en la zona. Entre ellas, detallaron problemas de secado de pozos, tal como se evidenció en el molino ubicado en el Sitio N° 7, en el cual pudo medirse el nivel freático en el año 2008 y posteriormente se produjo el secado, y luego en 2012 nuevamente se recuperó el nivel de agua dentro del pozo. Otra problemática detectada es la necesidad de perforar a mayor profundidad en terrenos donde existían pozos someros, tal como sucedió en el Sitio N° 10, asociado a descensos del nivel freático como se detalla más adelante.

En varios casos, los complejos turísticos y algunas viviendas tienen dificultades para llenar sus piletas de natación en época estival, teniendo incluso que recurrir a la compra de agua en camiones cisternas a un alto costo, como sucedió en 2011 en el Sitio N° 13.

Se suman los antecedentes de degradación de calidad del agua, comentados por vecinos que enviaron muestras a analizar a laboratorios de la ciudad de Tandil y resultaron no aptas para consumo humano. Otra preocupación, está dada por la colmatación y desborde de pozos absorbentes en eventos de precipitaciones extremas, sobre todo en la zona más baja del barrio.

#### 4.5.2.2 Hidrodinámica subterránea

La medición de niveles freáticos se realizó en la red de muestreo descrita en la Tabla 12, con la incorporación del sitio N° 16, cuya ubicación y distribución se presentan en la Figura 30.

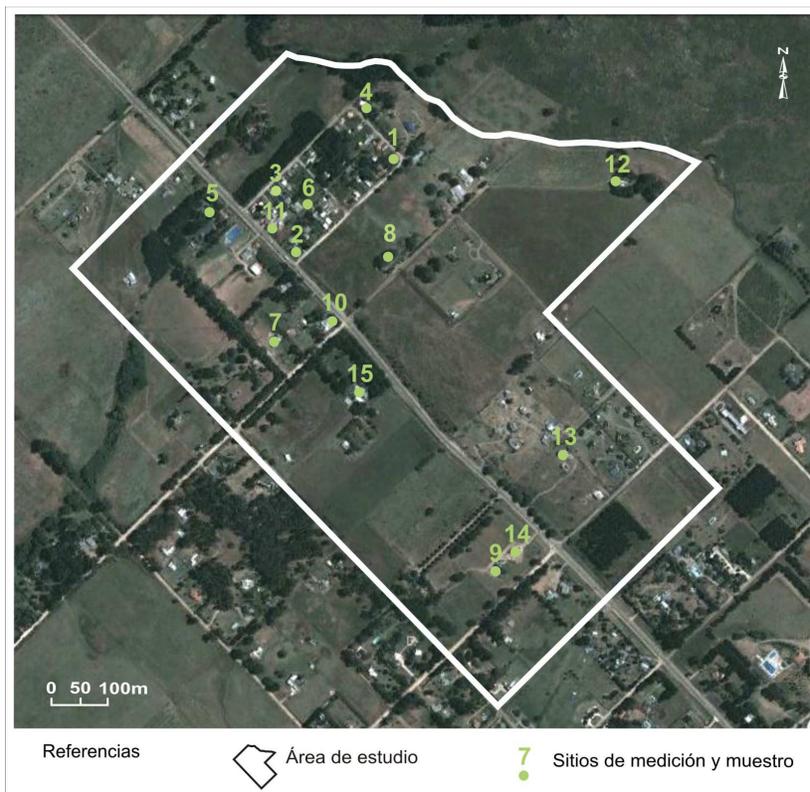


Figura 30. Sitios de medición y muestreo en el barrio Don Bosco.

Las fechas de medición correspondieron a junio de 2008, febrero de 2011, junio de 2011 y octubre de 2012. Los resultados de los niveles estáticos calculados se presentan en la Tabla 13.

Las mediciones de niveles freáticos permitieron conocer, por un lado, el espesor de la zona no saturada y, por otro, el sentido de escurrimiento subterráneo, indicando la convergencia del flujo hacia el N del área. El espesor de la zona no saturada varió entre 1,6 y 9,4 m en 2008. Mientras que en 2011 tanto en las mediciones de febrero como en junio se produjeron descensos del nivel freático, incrementándose el espesor de la zona no saturada hacia valores entre 3,3 m y 11,3 m.

Tabla 13. Niveles estáticos (m) 2008-2012. Barrio Don Bosco.

Sitio N°	Junio 2008	Febrero 2011	Junio 2011	Octubre 2012	Promedio
1	199,41	198,03	198,21	198,83	198,62
2	202,69	Sin dato	Sin dato	Sin dato	202,69
3	201,10	199,40	199,02	200,67	200,05
4	197,78	197,83	197,03	198,67	197,83
5	202,35	200,55	200,03	202,04	201,24
6	201,44	Pozo seco	Sin dato	Sin dato	201,44
7	205,57	Pozo seco	Pozo seco	200,90	203,24
8	202,52	201,00	200,62	202,08	201,56
9	206,33	206,54	206,00	208,14	206,75
11	202,18	197,72	199,41	198,99	199,58
12	203,87	203,55	202,32	204,39	203,53
13	204,75	201,40	202,62	207,71	204,12
16	201,77	201,10	200,65	201,49	201,25

Se presenta en la Figura 31 el mapa equipotencial correspondiente a junio de 2008 y en la Figura 32 el de junio 2011. Tanto en las mediciones de febrero y junio 2011 se corroboraron descensos del nivel freático, manteniéndose el sentido del flujo subterráneo local, hacia el N de la zona de estudio. Incluso en junio de 2011 la profundización de los niveles fue mayor a la época estival (febrero 2011).

Considerando que 2008 fue un año con bajas precipitaciones (535,2 mm anuales) las cuales se incrementaron posteriormente (617,2 mm en 2009; 928,6 mm en 2010; 836,4 mm en 2011) favoreciendo la recarga subterránea (Tabla 6). Se atribuye entonces el descenso de niveles freáticos detectados a los cambios de uso del suelo en la zona, que determinaron un incremento del uso residencial y comercial, con la consecuente realización de perforaciones para explotación del acuífero, incluyendo especialmente la construcción de piletas de natación en viviendas y complejos de cabañas.

Posteriormente, la medición de niveles efectuada en octubre de 2012 evidenció el ascenso de los niveles freáticos debido a las elevadas precipitaciones caídas en Tandil. En el período enero-septiembre de 2012 precipitaron 900 mm, destacándose el mes de agosto de ese año que contabilizó 330 mm de lluvias (Tabla 6). Ante tal situación de ascensos freáticos, la zona no saturada tuvo menores espesores, alcanzando prácticamente los valores medidos en junio de 2008, con sitios donde la profundidad del agua fue de sólo 2 metros. Estas condiciones favorecieron la colmatación de pozos absorbentes debido al contacto directo con la superficie freática, y por ende determina la contaminación en forma directa del recurso subterráneo, tanto en forma química como microbiológica.

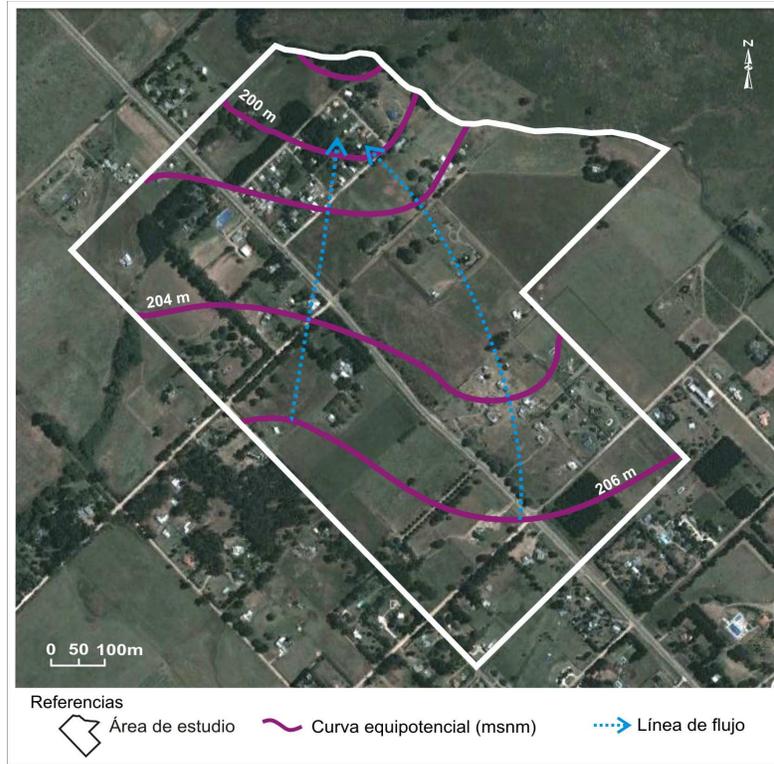


Figura 31. Mapa equipotencial para junio 2008. Barrio Don Bosco.

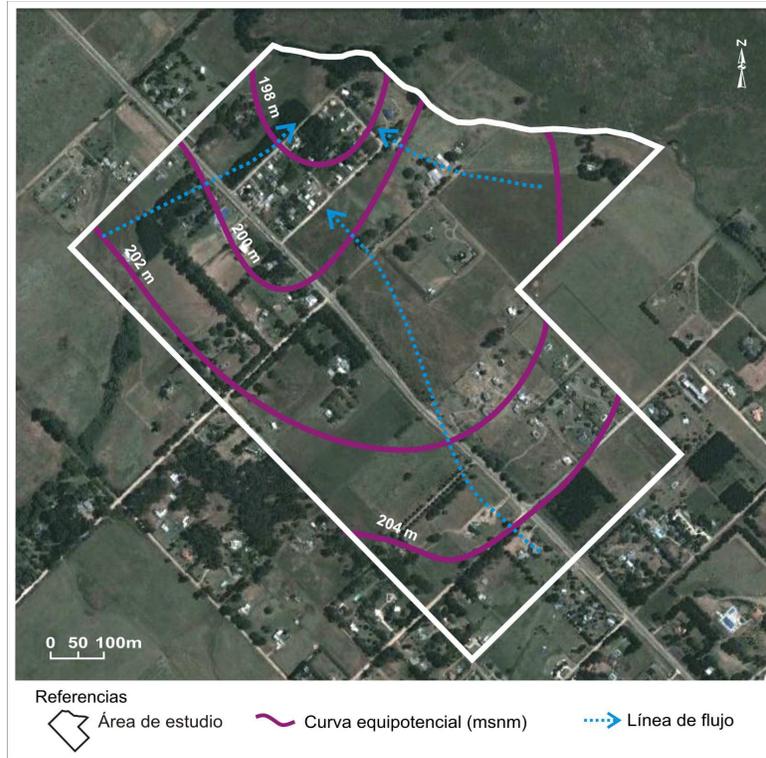


Figura 32. Mapa equipotencial para junio 2011. Barrio Don Bosco.

#### 4.5.2.3 Calidad del agua

Las muestras de agua fueron tomadas en la misma red de medición y muestreo presentada en la Figura 30. La recolección de muestras para análisis físico-químicos fue realizada en 4 oportunidades: junio 2008, febrero 2011, junio 2011 y octubre 2012. Los iones mayoritarios fueron analizados en 5 muestras en el censo de junio 2008 y los resultados se presentan en la Tabla 14. Por otra parte, la conductividad eléctrica y los nitratos se determinaron en todas las fechas y en todos los sitios de muestreo con acceso, cuyos valores se presentan en la Tabla 15. Cabe comentar que en algunas perforaciones, como las N° 2 y 6 sólo pudieron obtenerse muestras en junio de 2008, mientras que en las posteriores campañas ambos domicilios se encontraban sin habitantes.

Por su parte, los análisis microbiológicos se efectuaron sobre 5 sitios en junio 2008 y 11 muestras en octubre 2012. Los resultados se presentan en las Tablas 16 y 17.

Con respecto a la calidad físico-química, se observa en la Tabla 14 que el pH brindó un promedio de 7,61 y se destaca la predominancia del anión bicarbonato y los cationes calcio y magnesio. Los diagramas hidroquímicos de las Figuras 33 y 34 permiten visualizar la composición del agua y clasificarla como bicarbonatada cálcico-magnésica. Considerando que esta zona se ubica en la cabecera de la cuenca del arroyo Langueyú, los parámetros hidroquímicos determinados coinciden con la presencia de una zona de recarga subterránea.

Tabla 14. Iones mayoritarios y pH en Don Bosco. Junio 2008.

Sitio N°	pH	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	Cl <sup>-</sup> (mg/L)	Ca <sup>++</sup> (mg/L)	Mg <sup>++</sup> (mg/L)	Na <sup>+</sup> (mg/L)	K <sup>+</sup> (mg/L)
1	7,23	263,40	5,65	20,00	68,35	25,46	36,45	4,83
7	7,55	415,80	6,72	17,99	93,44	32,59	42,65	7,66
10	7,53	277,40	4,78	37,99	53,18	15,68	34,88	6,32
12	7,95	334,60	2,43	10,00	48,21	37,74	43,22	11,46
13	7,78	364,70	5,86	43,99	87,35	44,53	47,20	8,56
Promedio	7,61	331,18	5,09	25,99	70,11	31,20	40,88	7,77

El estudio hidrogeológico antes nombrado (CINEA, 2009) determinó el contenido de arsénico en 10 muestras de esta zona y sus alrededores, encontrándose en todos los casos concentraciones inferiores a 0,01 mg/L, valor recomendado por la Organización Mundial de la Salud para consumo humano.

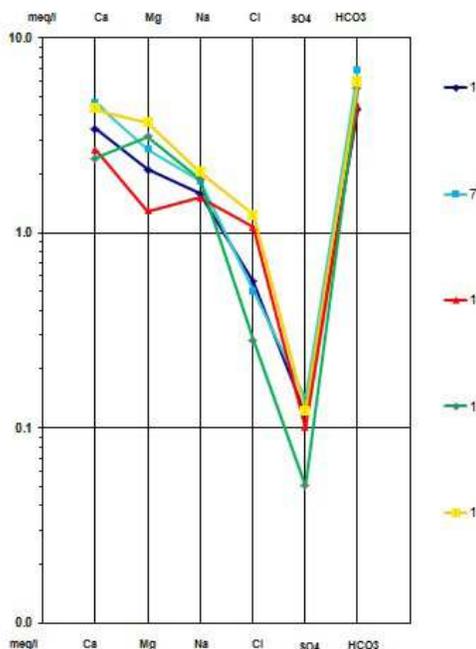


Figura 33. Diagrama de Schoeller para cinco muestras. Barrio Don Bosco.

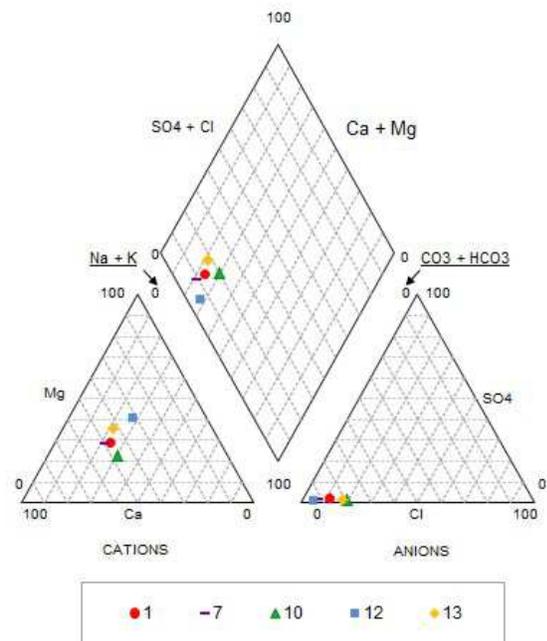


Figura 34. Diagrama de Piper para cinco muestras. Barrio Don Bosco.

Con respecto a la conductividad eléctrica (CE) como indicador de las sales disueltas en el agua, los resultados presentados en la Tabla 15 indicaron que el valor medio en las distintas fechas se aproxima a 800  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Los sitios de muestreo ubicados en la zona más alta del barrio (como los sitios N° 9 y 12) presentaron los menores valores de CE. Los tenores más elevados ocurrieron en los pozos N° 4 y 8. En el resto de los sitios los valores oscilaron entre 600 y 800  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

En los tres primeros muestreos se observa que el coeficiente de variación entre 20 y 28% indica la representatividad de la media respecto al conjunto de datos. Sin embargo, en el censo de octubre de 2012 se produjo una mayor variabilidad de los datos, posiblemente debida a la importante ocurrencia de precipitaciones en los meses previos (Tabla 6).

En algunos sitios se incrementaron los valores desde 2008 a 2011, tales como el N°1 donde la CE fue de 630  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en 2008, aumentando a 756  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en febrero 2011 y 853  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en junio 2011. Posteriormente, descendió a 720  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en octubre de 2012. Se destaca el punto N° 4 por sus elevados valores en todas las oportunidades de medición, alcanzando incluso 2.100  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en octubre de 2012.

Específicamente para febrero 2011, los resultados de CE se presentan en el mapa de la Figura 35.

Tabla 15. Conductividad eléctrica (CE) en  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ) en  $\text{mg}/\text{L}$  en Don Bosco.

Sitio N°	Junio 2008		Febrero 2011		Junio 2011		Octubre 2012	
	CE	Nitratos	CE	Nitratos	CE	Nitratos	CE	Nitratos
1	630	43,51	756	54,53	853	58,85	720	30,96
2	693	Sin dato	Sin dato	Sin dato	Sin dato	Sin dato	Sin dato	Sin dato
3	823	42,16	885	78,21	856	69,50	940	78,17
4	1.307	303,20	1.415	436,54	1.100	254,19	2.100	408,36
5	827	85,55	735	32,46	700	24,67	890	35,24
6	627	10,48	Sin dato	Sin dato	Sin dato	Sin dato	Sin dato	Sin dato
7	722	30,12	725	31,12	707	26,53	760	18,17
8	975	76,12	945	58,33	965	58,23	770	20,99
9	Sin dato	Sin dato	479	9,51	484	2,68	470	4,24
10	613	26,66	844	55,48	812	53,29	940	28,87
11	Sin dato	Sin dato	820	49,13	Sin dato	Sin dato	800	20,79
12	637	19,44	515	11,17	Sin dato	Sin dato	290	7,20
13	871	61,37	808	34,81	768	23,67	510	10,00
14	Sin dato	Sin dato	731	6,59	Sin dato	Sin dato	750	14,67
15	Sin dato	Sin dato	935	31,22	730	19,65	Sin dato	Sin dato
Máximo	1.307	303,20	1.415	436,54	1.100	254,19	2.100	408,36
Mínimo	627	10,48	479	6,59	484	2,68	290	7,20
Promedio	825,50	84,45	814,85	71,49	797,50	59,13	828,33	56,47
Desvío estándar	226,81	99,84	228,23	117,05	165,89	71,84	446,42	112,50
CV%	27,48	118,23	28,01	163,73	20,80	121,50	53,89	199,22

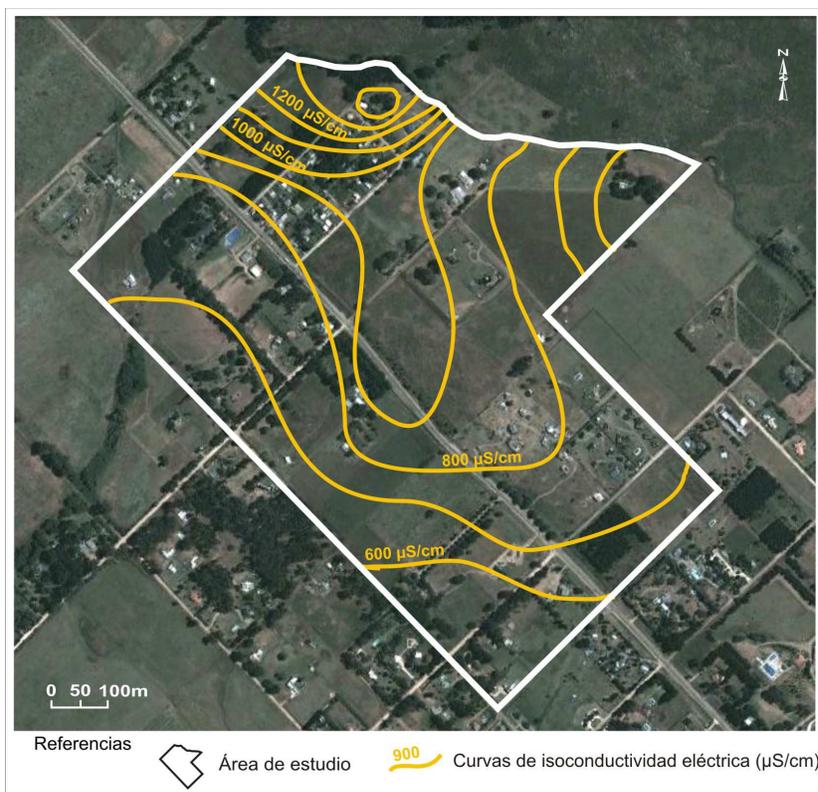


Figura 35. Mapa de isoconductividad para febrero 2011. Barrio Don Bosco.

Con respecto al ión nitrato, los estadísticos calculados (Tabla 15) demuestran que la media no es representativa del conjunto de datos en las distintas oportunidades de medición. Esto se debe principalmente a la elevada concentración de nitrato del sitio N° 4.

La Tabla 15 muestra que el nitrato presentó concentraciones cercanas a 10 mg/L en los sitios ubicados en la zona más alta del barrio (Sitios N° 9, 12 y 14), y por ende con menor afectación de focos de contaminación. A excepción de dichos casos, la mayoría de las determinaciones superan los valores antecedentes regionales de alrededor de 30 mg/L.

Nuevamente se detectó el aumento de este parámetro en la perforación N°1, pasando de 43,5 mg/L en 2008 a 58,8 mg/L en 2011, con un posterior descenso en 2012 alcanzando 30,96 mg/L. Lo sucedido en el sitio N° 1 denota que, a pesar de contar con una perforación reciente con buen diseño y protección (Tabla 12), el incremento de construcciones residenciales en los alrededores con la consecuente disposición de efluentes y la presencia de la chacra experimental con cría de animales (sitio N° 8) aguas arriba, se presenta como la principal causa de las variaciones en la calidad y en los niveles freáticos.

En los sitios de muestreo N° 1, 3, 4, 8 y 10 el valor supera el límite de 45 mg/L de nitratos recomendado por el Código Alimentario Argentino, en al menos dos de las mediciones realizadas entre 2008 y 2012.

Se destaca el punto N° 4, el cual presentó en todas las mediciones concentraciones superiores a 250 mg/L. Este elevado valor se corresponde con una de las viviendas más antiguas del barrio, donde se realiza cría de animales domésticos y se produce disposición histórica de efluentes domiciliarios en un pozo absorbente, ubicado cerca de la fuente de abastecimiento de agua que constituye un pozo cavado de poca profundidad (Tabla 12), con deficiente protección superficial y rodeado de animales domésticos. Además, este sitio se ubica aguas abajo del antiguo matadero y basural a cielo abierto (Sitio N° 8), donde es posible que continúen existiendo lixiviados que se desplacen acorde al sentido del flujo subterráneo.

Las concentraciones de nitratos para febrero de 2011 se presentan en el mapa de la Figura 36. Dicho mapa se elaboró con puntos mostrando sólo los valores, ya que se consideró más apropiado que el trazado de curvas de isoconcentraciones, debido a que las mismas se verían muy distorsionadas por el valor correspondiente al sitio N° 4.

Se observa la relación existente entre el sentido de escurrimiento subterráneo (Figuras 31 y 32) hacia el N del área de estudio, coincidiendo con la zona topográficamente más baja y con mayor densidad de viviendas, y los valores elevados de CE y nitratos (Figuras 35 y 36).

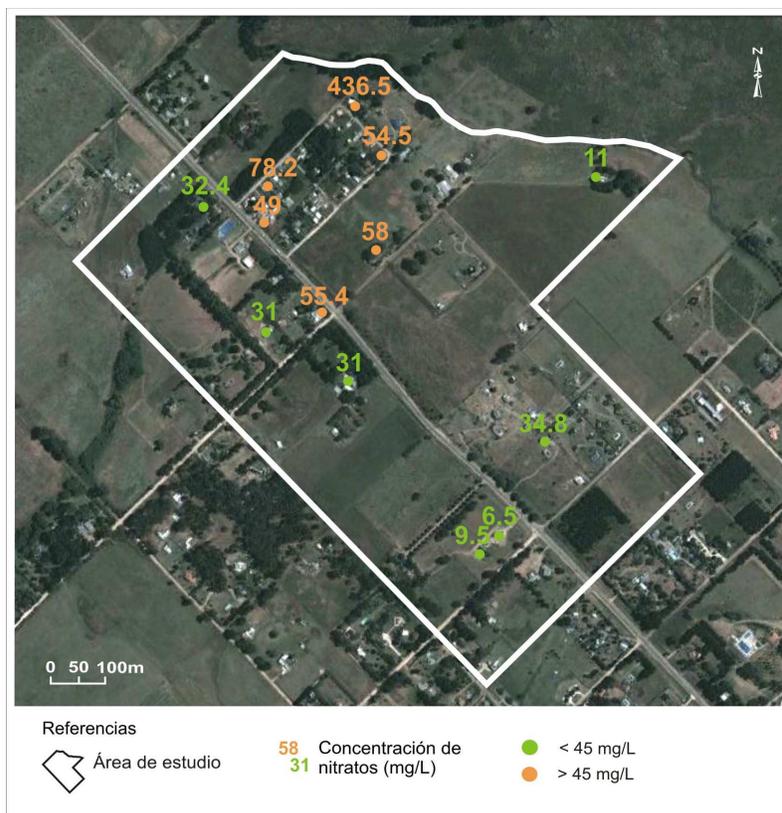


Figura 36. Mapa de concentraciones de nitratos para febrero 2011. Barrio Don Bosco.

Por otra parte, los análisis microbiológicos de 2008 y 2012, presentados en las Tablas 16 y 17 respectivamente, mostraron casos en los que las aguas no resultaron aptas para consumo humano.

En la primera campaña (Tabla 16) se tomaron 5 muestras de las cuales sólo una resultó apta, correspondiente al sitio N° 1. La muestra N° 4 fue la de mayor grado de contaminación, debido a la elevada cantidad de bacterias mesófilas y coliformes totales, sumado a la presencia del patógeno *Escherichia coli*.

Tabla 16. Análisis microbiológicos en Don Bosco. Junio de 2008.

Sitio N°	Bacterias mesófilas (UFC/ml)	NMP Coliformes totales/100 ml	<i>E. coli</i> / 100 ml	<i>P. aeruginosa</i> / 100 ml	Aptitud para consumo humano (Según CAA)
1	50	0	Ausencia	Ausencia	Apta
4	2.080	460	Presencia	Ausencia	No apta
5	515	73	Ausencia	Ausencia	No apta
6	1.930	93	Ausencia	Ausencia	No apta
7	130	4	Ausencia	Ausencia	No apta

Referencias: UFC: Unidades formadoras de colonias; NMP: Número más probable; CAA: Código Alimentario Argentino

En los análisis microbiológicos de octubre de 2012 (Tabla 17) sólo dos muestras (18%) cumplieron con la aptitud según el CAA. En cuatro muestras las bacterias mesófilas superaron ampliamente el nivel permitido por el CAA. Con respecto a los coliformes totales, ocho casos se encontraron por encima del valor permitido. *Escherichia coli* se manifestó en dos de las muestras y *Pseudomonas aeruginosa* no fue detectado. Los enterococos estuvieron presentes en tres casos mientras que los clostridios en cinco. Como se anticipó en el Marco teórico, la presencia de clostridios da indicios de contaminación que está presente en la zona hace un largo período de tiempo.

Se observa un alto grado de contaminación del punto N° 4, en el que se detectaron concentraciones de nitratos entre 254 y 436 mg/L y además presentó *E. coli* en las dos oportunidades de análisis, y enterococos en la determinación realizada en 2012.

Tabla 17. Análisis microbiológicos en Don Bosco. Octubre de 2012.

Sitio N°	Bacterias mesófilas (UFC/ml)	NMP Coliformes totales/100 ml	<i>E. coli</i> / 100 ml	<i>P. aeruginosa</i> / 100 ml	Enterococos	Clostridios	Aptitud para consumo humano (Según CAA)
1	70	0	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Apta
3	600	150	Presencia	Ausencia	Ausencia	Presencia	No apta
4	1.395	1.100	Presencia	Ausencia	Presencia	Ausencia	No apta
5	625	4	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Presencia	No apta
7	325	93	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Presencia	No apta
8	80	0	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Apta
9	120	4	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Presencia	No apta
10	675	240	Ausencia	Ausencia	Presencia	Ausencia	No apta
11	235	0	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Apta
13	1.140	460	Ausencia	Ausencia	Presencia	Presencia	No apta
14	795	4	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	No apta

Referencias: UFC: Unidades formadoras de colonias; NMP: Número más probable; CAA: Código Alimentario Argentino

En el sitio N° 5 los propietarios manifestaron preocupación por los resultados microbiológicos y efectuaron en marzo de 2013 la desinfección del pozo, del tanque y las cañerías acorde a las recomendaciones brindadas por la autora de esta Tesis. Luego de un mes se repitió el análisis microbiológico en dicha vivienda cuyo resultado indicó nuevamente la falta de aptitud para consumo humano, superando los niveles máximos recomendados de coliformes totales e incluso con la presencia de *E. coli*. Esta situación pone de manifiesto que los casos de contaminación detectados requieren una serie de medidas correctivas y preventivas que van más allá de la desinfección periódica de los sistemas de distribución y almacenamiento de agua.

#### 4.5.2.4 Transformaciones territoriales

Como se indicó en el apartado 2.3.4 de Metodología, en este sector de trabajo se hizo el relevamiento de los usos del suelo y se evaluaron las transformaciones ocurridas en el período 2003-2013. La selección del mismo se debió a que trabajos antecedentes dan cuenta de transformaciones en la ocupación y utilización de las tierras (Miranda del Fresno y Ulberich, 2010), que en mayor o menor medida impactan al sistema hídrico.

Para evaluar dichas transformaciones territoriales, se determinaron los usos del suelo considerando la delimitación del área de estudio indicada en la Figura 27 que ocupa una superficie de 77,39 hectáreas.

La Figura 37 muestra los usos del suelo en la zona de estudio para los años 2003 y 2013 y la Tabla 18 presenta las superficies y variaciones para cada uso en el mismo período.

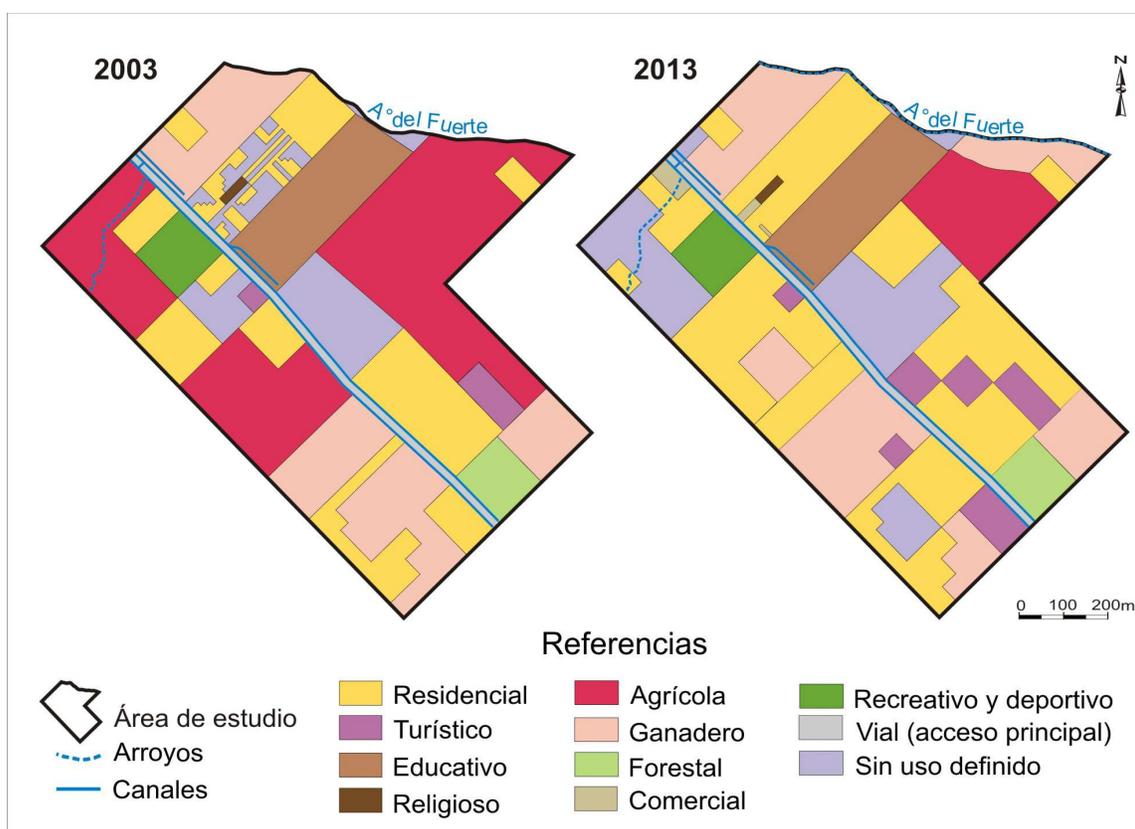


Figura 37. Usos del suelo y variaciones en Don Bosco. Período 2003-2013.

Tabla 18. Usos del suelo en Don Bosco. Período 2003-2013.

Usos	2003		2013	
	ha	%	ha	%
Residencial	16,97	21,93	23,87	30,84
Turístico	2,08	2,69	6,32	8,17
Comercial	0,00	0,00	0,52	0,67
Educativo	6,23	8,05	6,23	8,05
Religioso	0,14	0,18	0,14	0,18
Recreativo y deportivo	1,98	2,56	1,98	2,56
Forestal	1,84	2,38	1,84	2,38
Agrícola	26,34	34,03	7,50	9,69
Ganadero	16,11	20,82	18,85	24,36
Sin uso definido	3,64	4,70	8,08	10,44
Vial (acceso principal)	2,06	2,66	2,06	2,66
Total	77,39	100,00	77,39	100,00

El análisis de la Tabla 18 y la Figura 37 permite identificar los usos del suelo: residencial (viviendas particulares), turístico (complejos de cabañas), comercial (almacenes regionales, casas de té), educativo (Chacra de la Facultad de Veterinarias), religioso (capilla Ntra. Sra. de las Sierras), recreativo y deportivo (campo de deportes Club El Pucará), forestal (plantación de pinos), agrícola (cultivos), ganadero (pastoreo y cría de animales), sin uso definido (lotes baldíos), y las vías de acceso (Avenida Don Bosco que conecta la zona con la ciudad por el N y con la Ruta Provincial 74 por el S).

Los usos que aumentaron en superficie fueron: el residencial con un incremento del 8,91%, debido principalmente a la construcción de viviendas particulares y la apertura de nuevos loteos para tal fin; el turístico en un 5,48% mediante el establecimiento de complejos de cabañas; el comercial en un 0,67% debido a la instalación de un almacén y casas de té; el ganadero en un 3,54% por la ocupación de terrenos antes dedicados al uso agrícola fundamentalmente; y sin uso definido se incrementó un 5,74% por la ocupación de espacios destinados a usos agrícolas y ganaderos.

Por otra parte, el uso agrícola fue el que presentó la mayor disminución, pasando de un 34,03% de ocupación al 9,69%, debido a que distintos sectores fueron remplazados por otros usos, como el residencial, turístico, ganadero e incluso lotes sin uso definido.

El resto de los usos mantuvieron la misma superficie durante el lapso analizado.

Este análisis de los cambios de ocupación del territorio en el período 2003-2013 permitió conocer los usos del suelo y sus tendencias de crecimiento. Las variaciones se caracterizaron especialmente por el incremento del uso residencial y turístico-comercial, las cuales no han sido acompañadas por el abastecimiento de los servicios sanitarios básicos, como los de agua potable y cloacas.

Esta situación pone de manifiesto la necesidad de planificar la ocupación del territorio en las zonas periurbanas de la ciudad de Tandil, persiguiendo la protección del recurso subterráneo especialmente en

zonas de cabecera de cuenca, y garantizando a la población el abastecimiento de servicios sanitarios que impactan directamente en la calidad de vida humana.

#### 4.5.3 María Ignacia

La localidad de María Ignacia – Estación Vela posee 2.002 habitantes, según datos brindados por el Delegado Municipal a partir del Censo de Población, Hogares y Viviendas realizado en 2010.

Cuenta con Delegación Municipal y brinda un conjunto de servicios para los habitantes locales, tales como un Hospital Municipal, establecimientos educativos desde nivel inicial hasta secundario, cobertura parcial de agua potable, electricidad, telefonía, televisión e internet, calles y acceso principal asfaltados, entre otros servicios. Asimismo, nuclea actividades de apoyo a las tareas rurales, como comercios, talleres, depósitos, Cooperativas de acopio (Jacinto, 2011).

La problemática vinculada al manejo de los recursos hídricos en la localidad se posiciona como un aspecto sustancial en relación a las transformaciones territoriales que María Ignacia ha experimentado durante la última década. Tal como lo plantea Jacinto (2011), uno de los principales cambios territoriales se basa en la visualización de María Ignacia como un espacio de residencia alternativo a la ciudad de Tandil, en donde la presión y la especulación inmobiliarias fueron impulsando el incremento de los precios del suelo. Los terrenos vacantes han sido alcanzados por un proceso de valorización inmobiliaria y de expansión del uso residencial. Por un lado, estos procesos fueron activados por la demanda de los habitantes locales y por otro lado, favorecidos por la proximidad y conectividad vial entre la localidad y Tandil.

El sector seleccionado para la presente investigación abarca la zona más densamente poblada y alrededores, como se presenta en la Figura 38.



Figura 38. Ubicación de la localidad de María Ignacia (Estación Vela).

#### 4.5.3.1 Modos de uso y gestión del agua subterránea

Con respecto al abastecimiento de agua potable, existe una Cooperativa de servicios que brinda la prestación mediante perforaciones que explotan el acuífero freático, abarcando aproximadamente al 80% de la población.

Sin embargo, tanto en el ejido principal como en los alrededores de la localidad los pobladores utilizan perforaciones particulares hecho que, sumado a la inexistencia de sistema cloacal y la presencia de otras cargas contaminantes, genera el consumo de agua no apta poniendo en riesgo la salud de los habitantes.

En noviembre de 2011 se desarrolló la primera recorrida por la localidad y alrededores, relevando 35 perforaciones y efectuando cuestionarios a los pobladores sobre sus modos de abastecimiento, características constructivas de las perforaciones, existencia de focos contaminantes cercanos a las mismas, sistemas de disposición de efluentes, antecedentes de contaminación del agua y/o enfermedades de origen hídrico.

Por otra parte, se realizaron entrevistas a informantes clave, entre los que se incluyó: el Delegado Municipal de María Ignacia, Sr. Fabián Riva; el Presidente de la Cooperativa de provisión de agua potable, Sr. Jorge Ramos; y se interrogó al personal técnico de dicha Cooperativa sobre las características del sistema de explotación, almacenamiento y distribución de la red de agua potable. Además, se contó con la colaboración del personal del Hospital Municipal Rodríguez Larreta, quien a través de su Director Médico Matías Tringler, manifestaron su preocupación por la calidad del recurso en la localidad y su posible relación con patologías detectadas en dicho Hospital.

Según las entrevistas efectuadas al Presidente y al personal técnico de la Cooperativa, se conoció que la misma funciona desde 1980, momento en que se realizó la primera perforación. La Cooperativa es coordinada por el Servicio Provincial de Agua Potable y Saneamiento Rural (SPAR). Actualmente, cuenta con dos perforaciones para el abastecimiento de la localidad, cuyo diseño y construcción es adecuado y verificado por el SPAR. A continuación se detallan ambas perforaciones:

- Pozo N° 1: tiene 59 metros de profundidad. Construido en 1980. Se ubica en el predio de la Cooperativa en las calles Roca y San Martín (Sitio N° 1 en la Figura 42). Posee bomba sumergible.
- Pozo N° 2: fue construido en 2007. Tiene 63 metros de profundidad. También posee una bomba sumergible. Se ubica en las calles Alberdi y San Martín, a unos 120 metros del pozo N° 1.

La Cooperativa posee un tanque de 75 m<sup>3</sup> para el almacenamiento y posterior distribución, ubicado lindero al pozo N° 1. Previo a su almacenamiento, el agua recibe un proceso de cloración automática para garantizar la desinfección.

El servicio de agua potable cubre 512 bocas de abastecimiento (dato correspondiente a septiembre de 2012), es medido y arancelado según intervalos de consumo. El consumo poblacional medio es de 400 m<sup>3</sup>/día.

La Cooperativa remite informes mensuales y semestrales al SPAR, donde se indican las horas de funcionamiento de las bombas y la calidad del agua, entre otros datos. Análisis recientes de calidad existentes en la Cooperativa (fechados en abril y agosto de 2012) indican su aptitud para consumo humano, tanto por sus características físico-químicas como microbiológicas.

Por otra parte, el personal de la Cooperativa destacó la problemática de la aplicación de riego complementario en el cultivo de papa en tierras aledañas a la localidad. La preocupación radica en que esta actividad podría estar generando un descenso de los niveles freáticos en épocas de aplicación de riego.

En la entrevista realizada al Delegado Municipal de la localidad, Sr. Fabián Riva, se pudo saber que el Municipio de Tandil no tiene injerencia en el servicio de agua potable de la Cooperativa, aunque sí recibe informes diarios y semanales del control del servicio. Riva informó que la mayoría de los vecinos están conectados a la red e indicó que en 2012 se realizó la extensión de dicha red hacia el NO de la localidad, en cercanía de las vías férreas. Si bien la obra se encontraba finalizada en 2013, aún restaba que los vecinos se conectasen el servicio. Cabe mencionar que, a diferencia de lo indicado por el Delegado Municipal, en los recorridos se detectó que en numerosos domicilios han optado por mantener en uso la perforación o pozo domiciliario, y en algunos casos prefieren no conectarse a la red de agua potable, ya sea por razones económicas o porque les resulta más agradable el sabor del agua de pozo y confían en su calidad.

El Delegado también indicó que no han existido problemas de calidad en el agua potable brindada por la Cooperativa de servicios, como así tampoco se han manifestado quejas o reclamos respecto a la aptitud de la misma en las perforaciones particulares. En casos de viviendas con problemas de calidad en sus pozos, no existe una medida preventiva o correctiva, sino que, según Riva, se brinda agua segura sólo en casos de inundaciones como la ocurrida en agosto de 2012, llevando agua envasada a los domicilios que no poseen el servicio.

Sin embargo, en las viviendas visitadas se observó preocupación por la calidad en las perforaciones domiciliarias, y particularmente en el sitio N° 9 indicaron haber realizado reclamos a la Delegación Municipal para el abastecimiento de agua segura y la construcción de una nueva perforación, sin tener respuesta.

Riva indicó que existen previsiones sobre el tratamiento de efluentes domiciliarios, contando con un proyecto de sistema cloacal, cuyas primeras gestiones comenzaron a fines de 2008. La obra se encuentra diseñada, aunque no se ha puesto en marcha por dificultades legales con el terreno donde se ubicará la planta de tratamiento. Cabe señalar que la obra de cloacas fue diseñada por el SPAR y dimensionada para unos 2.300 a 2.500 habitantes. Como se detalló anteriormente, la localidad ha presentado un incremento del 10% en la última década (2001-2010) por lo cual, si se mantiene esa tendencia se superaría la capacidad operativa de la planta cloacal en los próximos 15 a 20 años. Por otra parte, el Delegado aclaró que si bien la obra cloacal será financiada por el Gobierno Provincial, el

Municipio deberá disponer del terreno para la planta de tratamiento y realizar el movimiento de suelo en dicho terreno y además aportar \$1,5 millones para la obra.

En cuanto a la situación actual de los efluentes domiciliarios, la mayoría de las viviendas poseen pozos absorbentes y la minoría letrinas. El Delegado indicó que con frecuencia se requieren servicios de camiones atmosféricos para el desagote de los pozos absorbentes. Normalmente se solicitan a camiones provenientes de Tandil (48 km) y de Benito Juárez (59 km), con un elevado costo del servicio (\$500 cada desagote en septiembre 2012). Ante esta situación, el Municipio de Tandil adquirió un camión atmosférico conjuntamente con los Bomberos.

Además, se consultó al Delegado Municipal sobre las tendencias de crecimiento de la localidad, a lo que respondió que no existe tanto un crecimiento sino más bien un cambio en la organización de la localidad. Indicó que: “*queremos pasar de ser el patio de atrás de la ciudad a ser el jardín*”, explicando que se busca generar una buena impresión a los visitantes.

Una vez efectuados los recorridos y entrevistas, se seleccionaron 16 perforaciones y pozos para conformar la red de medición y muestreo. La Tabla 19 detalla sus características de diseño y construcción y su cercanía a focos contaminantes. Asimismo, incluye la descripción del uso del recurso en cada domicilio, diferenciando si consumen agua de red, de pozo o de otra fuente.

La mayoría de los sistemas de extracción son perforaciones someras, aunque también existen pozos cavados, predominando construcciones antiguas respecto de las recientes. La mayor parte tienen profundidades entre 5 y 33 metros, a excepción de las pertenecientes a la Cooperativa que alcanzan 59 y 63 metros cada una. Para la extracción de agua, se utilizan mayormente bombas de mano (41%) seguidas por bombeadores automáticos ubicados en superficie (29%) y molinos (17%). Es muy reciente la colocación de bombas sumergibles que sólo se encontraron en una vivienda y en los pozos de abastecimiento de la Cooperativa.

Se observaron importantes deficiencias en el diseño, construcción y protección sanitaria de las perforaciones, siendo escasas las que poseen cañería de encamisado y sellado de las paredes del pozo. Además, la gran mayoría de ellas no cuentan con cobertura superficial adecuada para impedir la contaminación, llegando incluso en muchos casos a la ausencia de tapa o cubierta.

Con respecto a la presencia de focos contaminantes cercanos, se detectó que en el 81% de los casos relevados, el distanciamiento entre los pozos absorbentes y las perforaciones es menor a 15 metros. Considerando que distintos autores recomiendan distanciamientos superiores a 25 y 30 metros (Romero, 1970; CoFAPyS, 1993), esta situación pone de relevancia la posibilidad de contaminación del agua de consumo a través del flujo subterráneo originada por el vertido de efluentes en pozos absorbentes.

Cabe señalar que en agosto de 2012, las abundantes precipitaciones caídas en la zona produjeron anegamientos en sectores de la localidad. Debido a ello, se produjo el ascenso del nivel freático que favoreció la colmatación de numerosos pozos absorbentes, tal como lo indicaron los propietarios en el sitio N° 8.

Con respecto al uso del recurso, en el 65% de los sitios el agua de las perforaciones particulares constituye la única fuente de abastecimiento. Dos de ellos además no poseen cañerías de distribución, por lo cual acarrear el agua desde las bombas manuales hasta el interior de los domicilios. En otras dos viviendas se observaron cañerías externas deficientes.

El resto de los domicilios consultados accede a la red de agua potable y, como indica la Tabla 19, en ellos se observa una gran diversidad de situaciones referidas al uso del recurso. El sitio N° 1 utiliza la red para el consumo, mientras que el agua de pozo la aprovecha en los sanitarios y para limpieza. En el punto N° 5, la propietaria respondió que si bien accede al servicio de red, prefiere beber agua extraída por su bomba de mano debido a que su sabor le resulta más agradable, e indicó que tiene la precaución de limpiar y desinfectar el tanque de almacenamiento una vez por año. Otra situación es el sitio N° 4 que accede al agua de red y la utiliza para limpieza y preparación de alimentos, pero prefiere comprar agua de mesa envasada para el consumo familiar debido a dudas relacionadas a la calidad del recurso.

Es importante mencionar que en el sitio N° 6 el propietario manifestó que está preocupado por la calidad del agua, y creyó conveniente cambiar la bomba manual por un bombeador, considerando que esa modificación puede mejorar su calidad.

Por otra parte, en el sitio N° 9 la propietaria indicó que el agua “*tiene olor a podrido*” y que en épocas de precipitaciones intensas la extraen con barro. Sin embargo, a pesar de que viven dos niños en ese domicilio, no tienen acceso a un agua segura para el consumo humano.

Este tipo de situaciones ponen de manifiesto el desconocimiento de la población respecto a las interrelaciones del recurso subterráneo con las actividades humanas potencialmente contaminantes, así como mantienen la idea de que existen otros acuíferos más profundos de los cuales pueden extraer agua de mejor calidad si profundizan su perforación o colocan una bomba de mayor capacidad o potencia.

Tabla 19. Características de perforaciones y pozos de la red de muestreo en María Ignacia.

Sitio N°	Antigüedad	Características de diseño y protección	Cercanía a focos contaminantes	Situación de uso del agua
1	Reciente	Perforación. 33 metros de profundidad. Sin encamisado ni sellado. Protección superficial inadecuada. Bombeador en superficie.	Pozo absorbente a 12 metros. Posible ingreso de agua u otros elementos por la boca del pozo.	Poseen agua de red que utilizan para el consumo humano. El agua de pozo propio la utilizan para sanitarios y limpieza
2	Reciente	Perforación. Sin dato de profundidad. Protección superficial inadecuada. Bomba sumergible.	Pozo absorbente a 9 metros.	Poseen agua de red. El agua de pozo propio la utilizan para riego.
3	60 años.	Perforación de 5 metros de profundidad. Sin encamisado ni sellado. Protección superficial inadecuada. Bomba manual.	Ubicado a 10 metros del pozos absorbente.	Poseen agua de red y la utilizan para todos los usos domésticos.

4	Al menos 12 años.	Perforación. Sin sellado. Protección superficial inadecuada. Bombeador en superficie.	Pozo absorbente a 10 metros.	Si bien la vivienda está conectada al agua de red, compran envasada para el consumo humano.
5	Antigua	Perforación de 6 metros de profundidad. Sin encamisado ni sellado. Protección superficial inadecuada. Bomba manual.	Pozo absorbente a 8 metros.	La vivienda accede al agua de red. Sin embargo, prefieren consumir agua de pozo por su sabor.
6	Antigua	Perforación de escasa profundidad. Sin encamisado ni sellado. Protección superficial inadecuada. Bomba manual.	Dos pozos absorbentes cercanos: uno abandonado a 5 metros y otro en uso a 9 metros.	Consumen agua extraída por su perforación. El agua de red no llega a su vivienda.
7	2011	Perforación de 12 metros de profundidad. Sin encamisado ni sellado. Protección superficial inadecuada. Bomba manual.	Pozo absorbente a 12 metros.	El agua de red no llega a la vivienda. Consumen agua envasada.
8	Incluye: a) Molino: Antigo. b) Perforación: Más reciente.	a) Molino: pozo cavado. Profundidad de 12 metros. Posteriormente encamisado y con bombeador en superficie. Protección superficial inadecuada. (Se utilizó para medir el nivel freático) b) Perforación: encamisado. Sin sellado. Protección superficial inadecuada. Bombeador en superficie. 25 metros de profundidad. (Se utilizó para la toma de muestras de agua).	Existen 2 pozos absorbentes en el terreno, uno de ellos se ubica a 4 metros de la perforación. Este mismo pozo se colmata y rebalsa con frecuencia.	Consumen agua extraída por su perforación. El agua de red de la Cooperativa no llega a la zona en que se encuentra esta vivienda.
9	Antigua	Perforación de escasa profundidad, sin dato preciso. Sin encamisado ni sellado. Protección superficial inadecuada. Bomba manual.	Pozo absorbente a 8 metros. Perforación rodeada de animales. Criadero de cerdos en las inmediaciones.	El agua de red no llega a vivienda. Consumen agua de su perforación. No poseen cañerías de distribución, por lo cual la acarrear al interior del domicilio.
10	Antigua	Dos perforaciones de 7 y 11 metros de profundidad. Esta última es la que utilizan para consumo. Ambas perforaciones: sin encamisado ni sellado, sin cobertura superficial. Bombas manuales.	La perforación que utilizan para consumo se encuentra rodeada de animales domésticos y residuos, y se halla a 7 metros del pozo absorbente.	Consumen agua de su perforación. El sistema de distribución consta de cañerías precarias. El servicio de red no llega a esta vivienda.
11	Antiguo	Molino: pozo cavado. Sin protección superficial. Sin dato de profundidad	Actividad agrícola en sus alrededores. Posible afectación por agroquímicos.	El molino está aislado, no depende de una vivienda.
12	Incluye: a) Molino antiguo. b) Perforación antigua	a) Molino: pozo cavado. Sin protección superficial. Sin dato de profundidad (Se utilizó para medir el nivel freático) b) Perforación: sin encamisado ni sellado. Sin dato de profundidad. Protección superficial inadecuada. Bombeador en superficie. (Se utilizó para toma de muestra).	Dos pozos absorbentes cercanos, uno en uso ubicado a 10 metros de la perforación y otro en desuso. Abundante presencia de residuos y chatarras.	El servicio de red no llega a esta vivienda. Consumen agua extraída por su perforación. El sistema de distribución cuenta con cañerías precarias.

13	Antiguos (Figuras 39 y 40)	Un aljibe y una perforación, ambos de escasa profundidad. Además, existe otra perforación de 30 metros de profundidad, que es la utilizada para consumo. En los tres casos la protección superficial es inadecuada. Ambas perforaciones poseen bomba manual.	Existen dos pozos absorbentes, uno ubicado a 7 metros de la perforación en uso.	Utilizan agua de pozo para limpiar y cocinar. Mientras que para beber obtienen agua de red de otra vivienda de la localidad. No poseen cañerías de distribución. Si bien a fines de 2012 se extendió la red por su frente, aún no se encuentra conectado.
14	48 años	Perforación. 25 metros de profundidad. Sin encamisado ni sellado. Protección superficial inadecuada. Bombeador en superficie.	Pozo absorbente alejado más de 25 metros. Posible acceso de contaminación superficial a la perforación.	El servicio de red no llega a esta vivienda. Utilizan agua de su perforación para todos los usos domésticos.
15	Antigua	Perforación de escasa profundidad, sin dato preciso. Sin encamisado ni sellado. Protección superficial inadecuada. Bomba manual.	Pozo absorbente a 8 metros. En el mismo lote hay 3 viviendas, cada una con su perforación y su pozo absorbente.	Utilizan agua de la perforación para todos los usos domésticos. No poseen cañerías de distribución, por lo cual la acarrean hacia el interior del domicilio.
16	1980. (Figura 41)	Perforación. 59 metros de profundidad. Encamisado. Sellado. Adecuada protección superficial. Bomba sumergida.	No se evidenciaron focos contaminantes cercanos.	Pozo N° 1 de la Cooperativa de servicios. En forma conjunta con el pozo N° 2 abastece a la red de agua potable de la localidad.



Figura 39. Pozo N° 13. María Ignacia.



Figura 40. Pozo N° 13. María Ignacia.



Figura 41. Pozo N° 16 (Cooperativa). María Ignacia.

#### 4.5.3.2 Hidrodinámica subterránea

Las perforaciones y pozos detallados en la Tabla 19 constituyeron la red de medición de los niveles freáticos y de muestreo de agua subterránea. La Figura 42 presenta su distribución en el sector de estudio. Cabe destacar que en el sitio N° 16 correspondiente a la perforación de abastecimiento público la medición hidrométrica se realizó en un pozo de observación ubicado a 7 metros.

Las fechas de los censos hidrométricos corresponden a septiembre de 2012, mayo y agosto de 2013. Los resultados de los niveles estáticos se presentan en la Tabla 20.

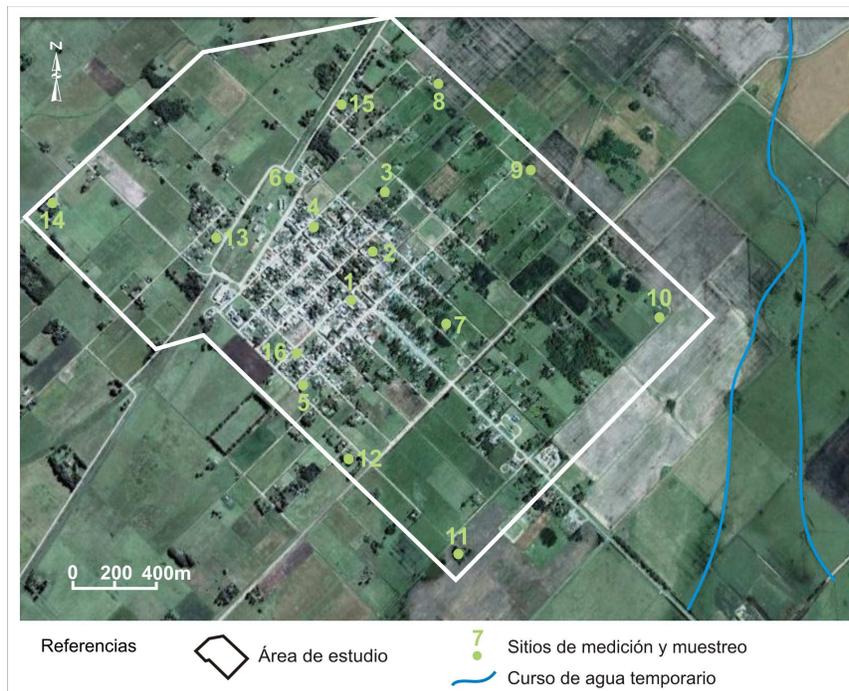


Figura 42. Sitios de medición y muestreo en la localidad de María Ignacia.

Tabla 20. Niveles estáticos (m) 2012-2013. María Ignacia.

Sitio N°	Septiembre 2012	Mayo 2013	Agosto 2013	Promedio
1	217,04	215,46	215,63	216,04
2	215,98	215,28	Sin dato	215,63
4	216,50	215,23	215,43	215,72
8	214,17	213,19	213,39	213,58
10	218,12	216,93	Sin dato	217,53
12	218,03	216,95	217,48	217,49
13	217,10	215,22	215,41	215,91
14	217,05	216,13	216,22	216,47
15	213,35	212,23	212,47	212,68
16	216,62	Sin dato	215,02	215,82

El mapa equipotencial para septiembre de 2012 (Figura 43) indica que los niveles estáticos oscilaron entre 213,35 y 218,12 msnm. Por su parte, en mayo de 2013 se presentaron descensos entre 0,90 y 1,88 metros, obteniéndose niveles estáticos entre 212,23 y 216,95 msnm. El mapa equipotencial de mayo de 2013 se presenta en la Figura 44. En agosto de 2013 se observaron variaciones menores respecto a los datos medidos en mayo de 2013, detectándose un ascenso freático que rondó los 0,20 metros, a excepción del sitio N° 12 con un incremento de 0,53 metros.

Los mapas equipotenciales para las tres ocasiones de medición presentan similares características e indican que el escurrimiento local tiene dirección hacia el N del área de estudio, acorde al flujo regional presentado en el Capítulo 3.

Como se manifestara previamente, las abundantes precipitaciones de 2012, totalizaron en el período enero-septiembre 900 mm, elevando el nivel freático a las cotas indicadas para septiembre de 2012 en la Tabla 20.

De esta manera, la medición del nivel freático permitió determinar el espesor de la zona no saturada la que en septiembre de 2012 resultó inferior a 1 metro en la mayoría de los sitios, alcanzando un máximo de 2,15 metros al NO del área de estudio. Mientras que en mayo y agosto de 2013, por descenso del nivel freático, la zona no saturada aumentó su espesor oscilando entre 1 y 3,15 metros. En las tres oportunidades, los espesores menores corresponden a la zona centro y N del área de estudio.

Esta escasa profundidad de los niveles freáticos da lugar a una elevada vulnerabilidad del acuífero a las cargas contaminantes, hecho especialmente relevante considerando la disposición tanto actual como histórica de los efluentes domiciliarios en pozos absorbentes y letrinas.

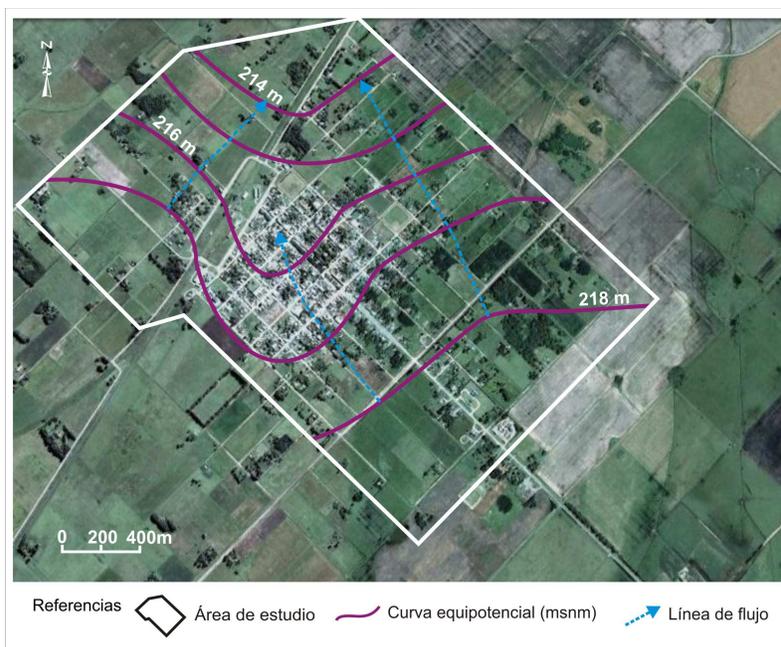


Figura 43. Mapa equipotencial para septiembre de 2012. María Ignacia.

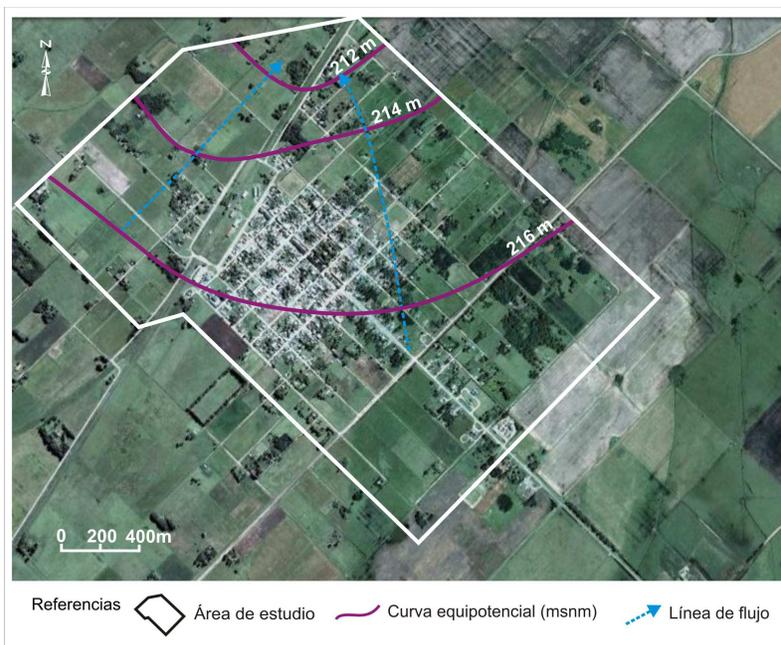


Figura 44. Mapa equipotencial para mayo de 2013. María Ignacia.

#### 4.5.3.3 Calidad del agua

Las muestras de agua subterránea fueron obtenidas en la red de medición (Figura 42). Las campañas de muestreo para determinaciones físico-químicas fueron cuatro: noviembre de 2011, septiembre de 2012, mayo y agosto de 2013. Los iones mayoritarios y el pH fueron analizados en 5 muestras en noviembre de 2011 y los resultados se presentan en la Tabla 21. Por su parte, la

conductividad eléctrica y los nitratos se determinaron en todas las campañas y en todos los sitios con acceso, cuyos datos se indican en la Tabla 22.

Al momento de analizar la calidad del recurso, cabe considerar la presencia de dos actividades potencialmente contaminantes hacia el acuífero libre. Una de ellas el Cementerio Municipal que se ubica al S de la localidad, a sólo 1.000 metros al E del sitio N° 11. Esto significa que se ubica aguas arriba del flujo subterráneo local. Por otra parte, los residuos sólidos urbanos se disponen sin tratamiento en un basural a cielo abierto ubicado al N de la localidad, a sólo 400 metros del punto N° 8. Si bien este basural está situado aguas abajo del ejido urbano, constituye un importante foco contaminante del recurso.

Por otra parte, las determinaciones microbiológicas fueron realizadas en dos ocasiones: septiembre de 2012 y agosto de 2013, cuyos resultados se presentan en las Tablas 23 y 24.

Comenzando por los iones mayoritarios (Tabla 21), los diagramas hidroquímicos de las Figuras 45 y 46 indican que la composición predominante corresponde al agua bicarbonatada magnésica. El pH varió entre 7,2 y 7,6. Los contenidos de cloruros pueden verse afectados debido a focos de contaminación puntual originados por heces humanas dispuestas en pozos absorbentes, presentando valores superiores a los antecedentes regionales.

Tabla 21. Iones mayoritarios y pH en María Ignacia. Noviembre 2011.

Sitio N°	pH	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup> (mg/L)	Cl <sup>-</sup> (mg/L)	Ca <sup>++</sup> (mg/L)	Mg <sup>++</sup> (mg/L)	Na <sup>+</sup> (mg/L)	K <sup>+</sup> (mg/L)
1	7,5	524,60	25,64	49,95	33,45	42,85	28,65	8,52
2	7,6	463,60	22,68	41,95	36,43	35,86	27,54	7,20
3	7,2	597,80	37,84	61,94	42,35	47,53	58,64	11,48
5	7,4	549,00	12,17	27,95	37,31	33,95	28,55	9,72
7	7,5	646,60	38,12	59,94	26,75	47,61	63,48	9,33
Promedio	7,44	556,32	27,29	48,34	35,25	41,56	41,37	9,25

Los resultados de la conductividad eléctrica (Tabla 22) variaron entre 580 y 2.120 µS/cm en los distintos muestreos, obteniendo el valor medio más elevado en la campaña de septiembre 2012 y el más bajo en mayo 2013. Los estadísticos indican que la media es representativa del conjunto de datos, debido a coeficientes de variación menores al 50% en todos los casos.

Comparando con lo determinado por Pessolano *et al.* (2012) para la cuenca del arroyo Chapaleofú Chico, se advierten incrementos en la salinidad del agua que pueden ser indicadores de fuentes contaminantes que afectan al acuífero.

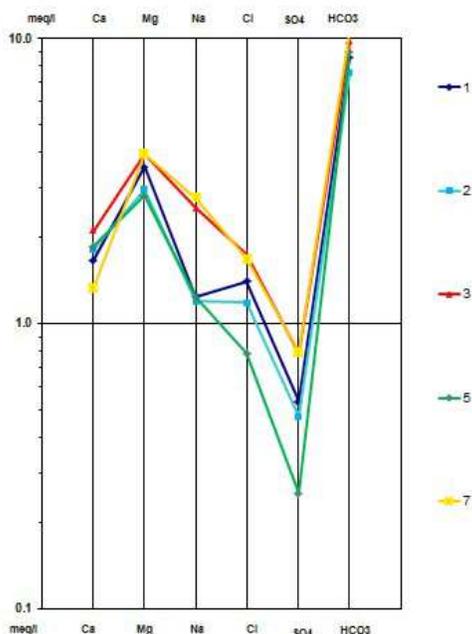


Figura 45. Diagrama de Schoeller para cinco muestras. María Ignacia.

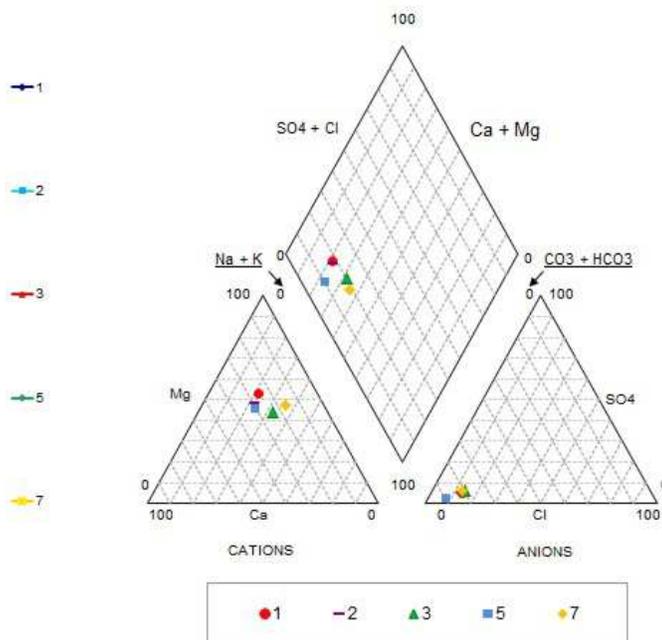


Figura 46. Diagrama de Piper para cinco muestras. María Ignacia.

Tabla 22. Conductividad eléctrica (CE) en  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ) en  $\text{mg}/\text{L}$  en María Ignacia.

Sitio N°	Noviembre 2011		Septiembre 2012		Mayo 2013		Agosto 2013	
	CE	Nitratos	CE	Nitratos	CE	Nitratos	CE	Nitratos
1	1.080	66,02	1.050	53,81	870	52,13	920	69,60
2	850	36,90	1.220	43,87	Sin dato	Sin dato	Sin dato	Sin dato
3	1.270	93,90	1.820	185,93	Sin dato	Sin dato	Sin dato	Sin dato
4	770	33,21	730	24,74	Sin dato	Sin dato	650	33,25
5	790	19,36	750	12,82	680	17,14	Sin dato	Sin dato
6	910	60,32	2.120	351,70	730	36,17	720	47,64
7	1.220	33,32	1.040	18,82	1.060	21,39	1.040	23,21
8	1.000	55,22	970	37,78	950	61,88	890	59,53
9	1.400	23,74	1.760	11,90	Sin dato	Sin dato	Sin dato	Sin dato
10	820	55,73	1.070	101,78	700	43,71	680	50,16
11	780	50,65	810	28,87	680	40,69	Sin dato	Sin dato
12	1.060	90,13	1.040	31,27	840	45,68	830	49,12
13	1.290	136,20	1.090	58,56	930	57,95	950	75,48
14	970	70,42	760	28,16	580	38,12	590	34,79
15	Sin dato	Sin dato	1.160	45,65	870	28,45	830	32,32
16	840	34,91	870	30,20	Sin dato	Sin dato	680	37,99
Máximo	1.400	136,20	2.120	351,70	1.060	61,88	1.040	75,48
Mínimo	770	19,36	730	12,82	580	17,14	590	23,21
Promedio	1.003,33	57,34	1.141,25	66,62	808,18	40,30	798,18	46,64
Desvío estándar	208,76	31,16	410,27	87,24	144,83	14,19	143,58	16,41
CV%	20,81	54,34	35,95	130,96	17,92	35,21	17,99	35,18

En la Figura 47 se presenta el mapa de curvas de isovalores de conductividad eléctrica para septiembre de 2012, en el cual se observan valores superiores a  $900 \mu\text{S}/\text{cm}$  en la mayor parte de la localidad y con un marcado incremento hacia el N, justamente de acuerdo al sentido de flujo subterráneo presentado en las Figuras 43 y 44.

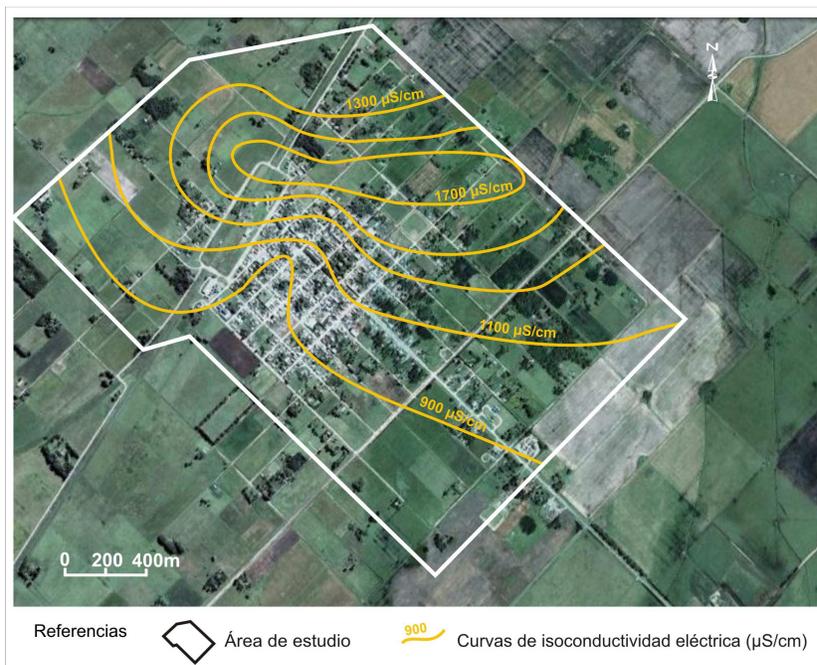


Figura 47. Mapa de isoconductividad eléctrica para septiembre 2012. María Ignacia.

Por su parte, los nitratos mostraron una gran oscilación en las primeras dos campañas (Tabla 22). El coeficiente de variación para ambas fechas demuestra que el promedio no es representativo del conjunto de datos. En noviembre de 2011 las concentraciones variaron entre 19 y 136 mg/L (Figura 48), mientras que en 2012 fluctuaron entre 12,8 y 351,7 mg/L (Figura 49).

En particular en la campaña de septiembre 2012 se detectaron dos muestras de los sitios N° 3 y 6 con altas concentraciones de nitratos, alcanzando 185,93 y 351,7 mg/L respectivamente. Se atribuyen esos valores a las condiciones de las perforaciones (detalladas en la Tabla 19), la cercanía de las mismas a los pozos absorbentes y la posibilidad de ingreso de agua por la boca de pozo, que pueden haberse visto afectadas principalmente por las elevadas precipitaciones previas a la toma de muestras (agosto 2012).

Los estadísticos calculadores para mayo y agosto de 2013 indican menor dispersión de los datos. En ambas fechas las concentraciones máximas fueron más bajas, aunque cabe destacar que no fue posible tomar la muestra en el sitio N° 3 que en las campañas anteriores de 2011 y 2012 presentó concentraciones de nitratos de 93,9 y 185,93 mg/L, respectivamente.

En las Figuras 48 y 49 se presentan las concentraciones de nitratos para la zona de estudio en noviembre de 2011 y septiembre de 2012, respectivamente, con un incremento de los valores hacia la

zona centro-N del sector. El mapa de concentraciones de nitratos se elaboró con puntos mostrando sólo los valores, debido a que se consideró más apropiado ese modo en lugar de curvas isoconcentraciones porque las mismas se verían distorsionadas ante la presencia de valores muy disímiles entre sitios de muestreo ubicados a corta distancia.

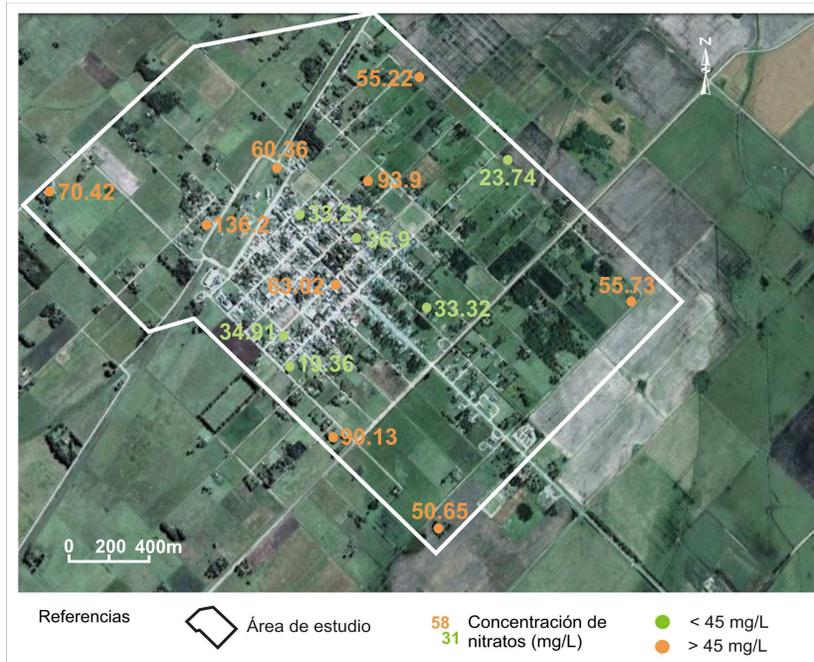


Figura 48. Mapa de concentraciones de nitratos para noviembre 2011. María Ignacia.

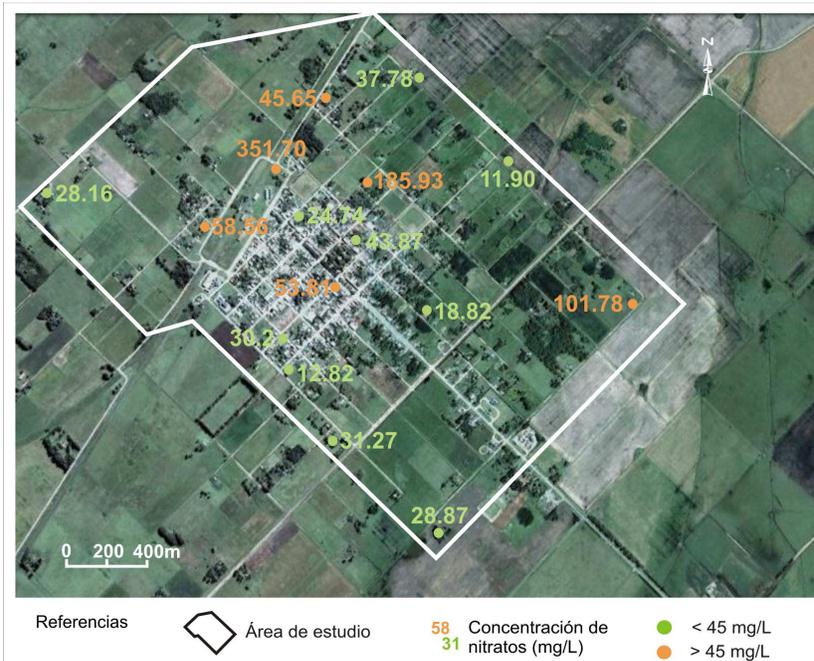


Figura 49. Mapa de concentraciones de nitratos para septiembre 2012. María Ignacia.

Comparando con el nivel máximo de nitratos recomendado por el Código Alimentario Argentino se observa que en 2011 el 60% y en 2012 el 37,5% de las muestras resultaron no aptas en función de su contenido. En mayo de 2013, 4 de 11 puntos (36,3%) superaron el nivel de 45 mg/L, mientras que en agosto de 2013 el 50% de los sitios muestreados excedieron dicho nivel.

La muestra N° 16 corresponde al Pozo N°1 de la Cooperativa de Provisión de Agua Potable, cuyo contenido de nitratos alcanzó entre 30 mg/L y 37,99 mg/L. Sin embargo en pozos particulares ubicados en las cercanías, tales como el sitio N° 1 distante 200 m del sitio N° 16, los contenidos del anión alcanzaron un máximo de 69,60 mg/L. Asimismo, en los sitios N° 12 y 13 localizados en un radio de aproximadamente 600 m desde el sitio N° 16, los tenores superaron lo recomendado por el CAA en la mayoría de las campañas de medición.

Con respecto a los análisis microbiológicos efectuados en septiembre de 2012, la Tabla 23 indica que sólo 3 (18,75%) de ellas resultaron aptas para el consumo humano según indica el Código Alimentario Argentino, siendo una la de abastecimiento público (sitio N° 16). Cabe aclarar que dicha muestra fue tomada directamente del pozo, en forma previa a la cloración. Los otros dos casos son de viviendas que consumen agua de sus perforaciones domiciliarias.

Por consiguiente, se determinó que el 81,25% resultó no apto para consumo humano, destacándose que en 8 de esos 13 puntos el agua extraída de las perforaciones y pozos particulares constituye la única fuente para dicho uso. La mayoría de las muestras excedió los valores de coliformes totales y de bacterias aeróbicas mesófilas. Se destaca la determinación de *Escherichia coli* en 3 sitios (N° 6, 9 y 10) considerando la peligrosidad que implica la presencia de esta bacteria en aguas de consumo. Por su parte, *Pseudomonas aeruginosa* no fue detectada en los casos analizados, mientras que los enterococos estuvieron presentes en cinco muestras y los clostridios en dos de ellas.

Se enfatiza que los puntos N° 3, 6 y 10 presentaron para la misma fecha elevadas concentraciones de nitratos (185,83 mg/L; 351,70 mg/L y 101,78 mg/L, respectivamente), y resultaron también con alto grado de contaminación microbiológica, evidenciada por la presencia de al menos uno de los siguientes agentes patógenos: *E. coli*, enterococos o clostridios.

Tabla 23. Análisis microbiológicos en María Ignacia. Septiembre de 2012.

Sitio N°	Bacterias mesófilas (UFC/ml)	NMP Coliformes totales/100 ml	<i>E. coli</i> / 100 ml	<i>P. aeruginosa</i> / 100 ml	Enterococos	Clostridios	Aptitud para consumo humano (Según CAA)
1	11.000	43	Ausencia	Ausencia	Presencia	Ausencia	No apta
2	4.210	460	Ausencia	Ausencia	Presencia	Presencia	No apta
3	1.330	460	Ausencia	Ausencia	Presencia	Ausencia	No apta
4	505	0	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	No apta
5	55	0	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Apta
6	2.500	93	Presencia	Ausencia	Ausencia	Presencia	No apta
7	485	1.100	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	No apta
8	0	4	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	No apta
9	0	9	Presencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	No apta
10	90	1.100	Presencia	Ausencia	Presencia	Ausencia	No apta
11	13.790	4	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	No apta
12	10	9	Ausencia	Ausencia	Presencia	Ausencia	No apta
13	150	4	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	No apta
14	100	240	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	No apta
15	50	0	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Apta
16 (pozo)	100	0	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Apta

Referencias: UFC: Unidades formadoras de colonias; NMP: Número más probable; CAA: Código Alimentario Argentino

Por otra parte, los análisis microbiológicos de agosto de 2013 (Tabla 24) indicaron que el 72,7% de las muestras resultó no apta para consumo humano. La mayoría excedieron el contenido de coliformes totales, mientras que sólo una presentó *P. aeruginosa*, en otra se detectó *E. coli* y en dos se determinaron clostridios.

En agosto de 2013 la muestra N° 16 correspondiente al pozo de abastecimiento público fue determinada como no apta para su consumo por la presencia de *E. coli*. Sin embargo, en forma simultánea se tomó una muestra proveniente del mismo pozo posterior a la cloración, la cual presentó 0,15 mg/L de cloro residual y resultando apta según lo indica el Código Alimentario Argentino (Tabla 24).

Cabe comentar que en el sitio N° 6 los propietarios manifestaron preocupación por la calidad del agua que le fue informada luego de los análisis de 2012. Por ello, realizaron modificaciones en la captación, reemplazando la bomba manual por un bombeador automático, y los antiguos caños metálicos por plásticos. Además, adoptaron las recomendaciones sobre la desinfección del pozo, tanque y las cañerías, e informaron que periódicamente agregan cloro en el tanque de almacenamiento. En relación a estas medidas, pudo observarse que el resultado de la muestra N° 6 determinado en agosto de 2013 (Tabla 24) presentó un menor grado de contaminación microbiológica que en septiembre de 2012 (Tabla 23).

Tabla 24. Análisis microbiológicos en María Ignacia. Agosto de 2013.

Sitio N°	Bacterias mesófilas (UFC/ml)	NMP Coliformes totales/100 ml	<i>E. coli</i> / 100 ml	<i>P. aeruginosa</i> / 100 ml	Enterococos	Clostridios	Aptitud para consumo humano (Según CAA)
1	10	0	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Apta
4	20	0	Ausencia	Presencia	Ausencia	Ausencia	No apta
6	120	43	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	No apta
7	140	0	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Apta
8	10	0	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Apta
10	310	9	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	No apta
12	40	4	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	No apta
13	140	9	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	No apta
14	380	23	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Presencia	No apta
15	10	460	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Presencia	No apta
16 (pozo)	20	4	Presencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	No apta
16 (tanque)	0	0	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Apta

Referencias: UFC: Unidades formadoras de colonias; NMP: Número más probable; CAA: Código Alimentario Argentino

#### 4.5.4 Gardey

El paraje se ubica al O de la ciudad de Tandil y posee 640 habitantes, según el relevamiento realizado por la Delegación Municipal. El sector considerado para la presente investigación, que incluye el área más densamente poblada, se indica en la Figura 50.



Figura 50. Ubicación de la localidad de Gardey.

Gardey cuenta con un conjunto de servicios para la población local, entre los que se incluyen una Sala de Atención Primaria a la Salud, establecimientos educativos (Jardín de Infantes, Escuela Primaria y

Escuela Secundaria Técnica), Delegación Municipal, y otros como electricidad, cobertura parcial de agua potable, telefonía, y acceso principal asfaltado. También agrupa actividades vinculadas al ámbito rural, entre las que se destaca una empresa productora de agroquímicos ubicada lindera a la estación del ferrocarril.

#### **4.5.4.1 Modos de uso y gestión del agua subterránea**

En octubre de 2009 la autora realizó el primer recorrido por la zona con visitas a viviendas e instituciones relacionadas a la gestión del agua, y se estableció contacto con habitantes e informantes clave. En esa fecha se relevaron 28 perforaciones y pozos, en cuyos domicilios se efectuaron cuestionarios sobre sus modos de explotación y uso. Además, se realizaron entrevistas al Delegado Municipal, Sr. Matías Meli, y al personal técnico de Obras Sanitarias Tandil sede Gardey.

En la localidad existe cobertura parcial de agua de red a cargo de Obras Sanitarias Tandil. El ente cuenta con dos perforaciones ubicadas en la planta urbana de Gardey, ambas de similares características, construidas en 1999. Los detalles de la perforación N° 1 se muestran en la Tabla 25. La perforación N° 2 se encuentra fuera de servicio por problemas de funcionamiento en la bomba sumergible. Según la entrevista al personal técnico, la red de agua corriente abarca 210 bocas de abastecimiento. El consumo estimado es de 60-70 m<sup>3</sup>/día.

El caudal extraído de ambas perforaciones es almacenado en un tanque ubicado en el sitio N° 1 (Figura 51). El agua recibe un proceso de desinfección por cloración, tras el cual ingresa a las cañerías de distribución. El personal técnico entrevistado indicó que no tienen certezas del contenido de cloro residual que existe en los extremos de las cañerías de distribución.

En la entrevista al Delegado Municipal, éste indicó que la cobertura de agua de red es del 100%. Sin embargo, en los recorridos por la zona se corroboró que el abastecimiento es inferior, debido a que numerosas viviendas se aprovisionan del recurso subterráneo a través de pozos particulares al no encontrarse dentro de la zona del tendido. Además, los cuestionarios realizados a los habitantes demostraron que algunos prefieren mantener en uso sus pozos particulares por distintas razones, una de ellas es la preferencia del agua de pozo por motivos organolépticos relacionados al cloro, a lo que se suman los cortes frecuentes en el servicio y la no existencia de tanques de almacenamiento en algunas viviendas.

El Delegado Municipal informó que desde OST realizan controles periódicos de la calidad del agua de la red y que no han existido reclamos al respecto, como así tampoco referidos a las perforaciones particulares.

Por otra parte, en la localidad no existe servicio de red cloacal y no se conocen proyectos sobre su futura realización, por lo cual la disposición de los efluentes líquidos se efectúa en su mayoría en pozos absorbentes, existiendo también letrinas.

Se seleccionaron 16 perforaciones y pozos para conformar la red de medición y muestreo. En la Tabla 25 se presentan las características de diseño y construcción de los mismos, incluyendo una de abastecimiento público (N° 1). Se describe la presencia de focos contaminantes cercanos, y se detalla el uso del agua en cada sitio, indicando si se consume el recurso de la red municipal o de su perforación particular.

Se detectó una predominancia de perforaciones someras y en menor medida de pozos cavados. Las profundidades indicadas por los propietarios varían entre 6 y 48 metros, siendo las perforaciones más profundas las de Obras Sanitarias Tandil y el sitio N° 5, ambos de reciente construcción.

En cuanto al diseño de las perforaciones y pozos, se encontró que la mayoría no cuenta con cañería de encamisado ni sellado del pozo. Asimismo, la cobertura superficial es en general inadecuada o nula, permitiendo el ingreso de agua y otras sustancias a la perforación o pozo.

Para la extracción coexisten en igual medida bombas sumergibles, bombeadores automáticos, bombas manuales y molinos, también se encontraron dos aljibes en desuso.

Se relevaron los focos contaminantes dispuestos en las cercanías de las perforaciones y pozos, encontrando que existen pozos absorbentes que en todos los casos se ubican a distancias inferiores a 25 metros, valor recomendado por CoFAPyS (1993). Además, se detectaron otros focos como la presencia de animales en cercanías de las perforaciones, la posible afectación por agroquímicos aplicados en zonas agrícolas, una laguna de efluentes de un tambo, entre otros.

Tabla 25. Características de perforaciones y pozos de la red de muestreo en Gardey.

Sitio N°	Antigüedad	Características de diseño y protección	Cercanía a focos contaminantes	Situación de uso del agua
1	1999. (Figura 51)	Perforación. 45 metros de profundidad. Encamisado y con adecuada protección superficial. Bomba sumergida.	Pozos absorbentes cercanos de las viviendas vecinas al predio de OST.	Perforación que pertenece a OST Gardey para abastecer a parte de la localidad.
2	Antiguo	Aljibe. Pozo cavado. 15 metros de profundidad. Sin encamisado. Cobertura superficial inadecuada. Se encuentra fuera de uso. (Se utilizó solamente para la medición del nivel freático)	Se encuentra a 7 metros del pozo absorbente.	Poseen agua de red municipal y la utilizan para el consumo.
3	Antiguo	Perforación. Sin dato de profundidad. Sin encamisado. Cobertura superficial adecuada. Se encuentra fuera de uso, no posee sistema de extracción de agua. (Se utilizó sólo para la medición del nivel freático)	Se ubica a 10 metros del pozo absorbente.	Consumen agua de la red municipal.
4	Antiguo (Figura 52)	Perforación. 13 metros de profundidad. Sin encamisado ni sellado. Protección superficial inadecuada. Bombeador en superficie.	Se encuentra a 11 metros del pozo absorbente.	Consumían agua de pozo, debido al olor a cloro de la red. En 2009 a partir de los resultados de esta investigación, comenzaron a consumir agua de red.

5	2006	Perforación de 48 metros de profundidad. Encamisado y sellado. Adecuada protección superficial. Bomba sumergida.	No se observaron focos contaminantes cercanos.	Complejo de cabañas con fines turísticos. La red municipal no llega a este domicilio. Utilizan agua de pozo para todos los usos.
6	Reciente.	Perforación. Sin dato de profundidad. Encamisado y sellado. Adecuada protección superficial. Bombeador en superficie.	Pozo absorbente a 10 metros. Se ubica a 50 metros del arroyo Chapaleofú Chico. En 2012 las elevadas precipitaciones inundaron la vivienda y se produjo el ingreso de agua a la perforación.	El tendido municipal no llega a este domicilio, por lo cual utilizan el agua de pozo para todos los usos.
7	Antiguo. (Figura 53)	Aljibe. Pozo cavado a pico y pala. Sin dato de profundidad. Cobertura superficial inadecuada. Actualmente se encuentra fuera de uso. (Se utilizó solamente para la medición del nivel freático)	No se observaron focos contaminantes cercanos.	La vivienda posee agua de red municipal y la utilizan para el consumo.
8	Antiguo.	Perforación de escasa de profundidad. Sin encamisado ni sellado. Protección superficial inadecuada. Bomba manual.	Pozo absorbente a 9 metros de la perforación.	La red no llega a esta vivienda, por lo cual utilizan el agua de pozo para todos los usos.
9	Antiguo.	Perforación de escasa de profundidad. Sin encamisado ni sellado. Protección superficial inadecuada. Bomba manual.	Animales en las cercanías del pozo.	Se utiliza exclusivamente para la bebida de animales.
10	Incluye: a) Perforación reciente. b) Molino. Antiguo.	a) Perforación. 6 metros de profundidad. Sin encamisado ni sellado. Protección superficial inadecuada. Bombeador en superficie. (Se utilizó para la toma de muestra) b) Perforación con molino. Sin dato de profundidad. Protección superficial inadecuada. (Se utilizó para medir el nivel freático)	Pozo absorbente a 15 metros de la perforación.	La red no llega a esta vivienda, por lo cual utilizan el agua de la perforación (a) para todos los usos. El molino se usa para bebida de animales.
11	Reciente. 10 años. (Figura 54)	Perforación. 30 metros de profundidad. Encamisado. Sellado. Protección superficial inadecuada. Bomba sumergida.	El sitio corresponde a una empresa de acopio de cereales. Se observó el ingreso de cereales por la boca del pozo.	El agua de pozo se utiliza para la limpieza del predio y máquinas. Para el consumo humano utilizan agua de red municipal.
12	Incluye: a) Perforación reciente. b) Molino. Antiguo.	a) Perforación. Sin dato de profundidad. Encamisado. Sellado. Protección superficial adecuada. Bomba sumergida. b) Pozo cavado con molino. Sin dato de profundidad. Protección superficial inadecuada.	Existe un tambo en las cercanías, cuya laguna de efluentes se ubica a 20 metros del molino (b). Posible afectación por agroquímicos en la perforación (a)	Utilizan agua del pozo (b) para todos los usos domésticos y también para el funcionamiento del tambo. La perforación (a) se utiliza para el riego de cultivos de papa.
13	Antiguo	Perforación con molino. Sin dato de profundidad. Sin encamisado ni sellado. Protección superficial inadecuada.	Actividad agrícola en sus alrededores. Posible afectación por agroquímicos.	El molino está aislado, no depende de una vivienda.

14	Antiguo.	Perforación. Sin dato de profundidad. Sin encamisado ni sellado. Protección superficial inadecuada. Bomba manual.	Pozo absorbente a 8 metros de la perforación.	La red no llega a esta vivienda. Consumen agua de su perforación. No poseen cañerías, acarreamos agua al interior de la vivienda.
15	Antiguo.	Perforación con molino. Sin dato de profundidad. Sin encamisado ni sellado. Protección superficial inadecuada. Recientemente se incorporó una bomba sumergida en la perforación.	Pozo absorbente a 18 metros. Actividad agrícola en sus alrededores. Posible afectación por agroquímicos.	El servicio de red no llega a esta vivienda. Consumen agua extraída por su perforación.
16	Antiguo.	Perforación con molino. Sin dato de profundidad. Sin encamisado ni sellado. Protección superficial inadecuada.	Pozo absorbente abandonado a 14 metros. Actividad agrícola en sus alrededores. Posible afectación por agroquímicos.	El servicio de red no llega a esta vivienda. Consumen agua extraída por su perforación.



Figura 51. Pozo N° 1 Obras Sanitarias sede Gardey.



Figura 52. Pozo N° 4. Gardey.



Figura 53. Pozo N° 7. Gardey.



Figura 54. Pozo N° 11. Gardey.

#### 4.5.4.2 Hidrodinámica subterránea

Los niveles freáticos fueron medidos en las perforaciones de la red de muestreo detallada en la Tabla 25, cuya ubicación en el sector de estudio y sus alrededores se presenta en la Figura 55.

Las fechas de medición correspondieron a septiembre de 2009, junio de 2010, febrero y julio de 2011 y octubre de 2012. Los resultados de los niveles estáticos calculados se exhiben en la Tabla 26.

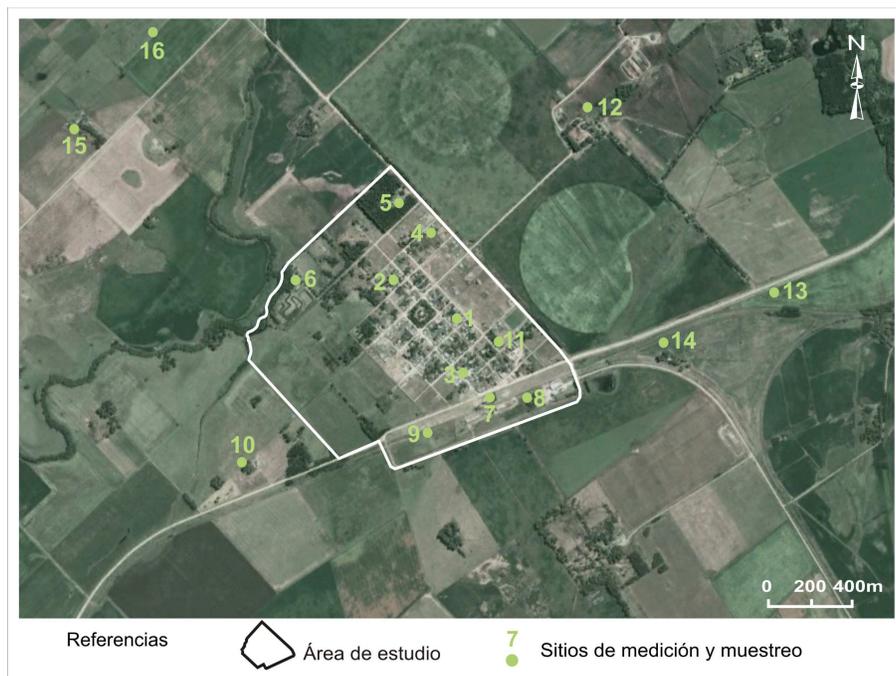


Figura 55. Sitios de medición y muestreo en Gardey.

Tabla 26. Niveles estáticos (m) 2009-2012. Gardey.

Sitio N°	Septiembre 2009	Junio 2010	Febrero 2011	Julio 2011	Octubre 2012	Promedio
1	168,50	168,74	169,02	169,15	Sin dato	168,85
2	168,52	168,65	169,19	168,79	170,16	169,06
3	168,67	168,82	Sin dato	168,88	169,95	169,08
4	168,74	168,80	169,36	168,87	170,50	169,25
5	165,77	166,21	166,67	166,37	167,63	166,53
6	169,19	169,59	169,92	169,79	170,28	169,75
7	170,95	171,17	171,70	171,37	172,26	171,49
8	171,19	171,38	171,90	171,80	172,84	171,82
10	Sin dato	Sin dato	170,75	170,78	171,23	170,92
11	168,10	169,18	169,78	169,65	170,79	169,50
12	174,86	176,61	Sin dato	176,87	Sin dato	176,11
13	167,18	167,60	167,98	Sin dato	168,64	167,85
15	171,06	171,26	171,26	171,45	171,88	171,38
16	169,00	169,30	169,15	Sin dato	Sin dato	169,15

Los niveles estáticos presentaron valores medios entre 166 y 176 msnm. Se observó el incremento de los niveles en la mayoría de los sitios desde 2009 a 2012, alcanzando un máximo en 2012 por las elevadas lluvias caídas en invierno de ese año.

El mapa equipotencial para septiembre de 2009 se observa en la Figura 56. El flujo subterráneo tiene sentido hacia el N acorde a la pendiente regional, aunque se presenta una distorsión causada por el menor nivel estático del sitio N° 5. En las mediciones hidrométricas realizadas en 2010, 2011 y 2012 se corroboró el sentido de flujo. El mapa equipotencial para octubre de 2012 (Figura 57) demuestra los mayores niveles estáticos determinados para esa fecha ocasionados por la recarga directa por precipitaciones en ese año (Tabla 6).

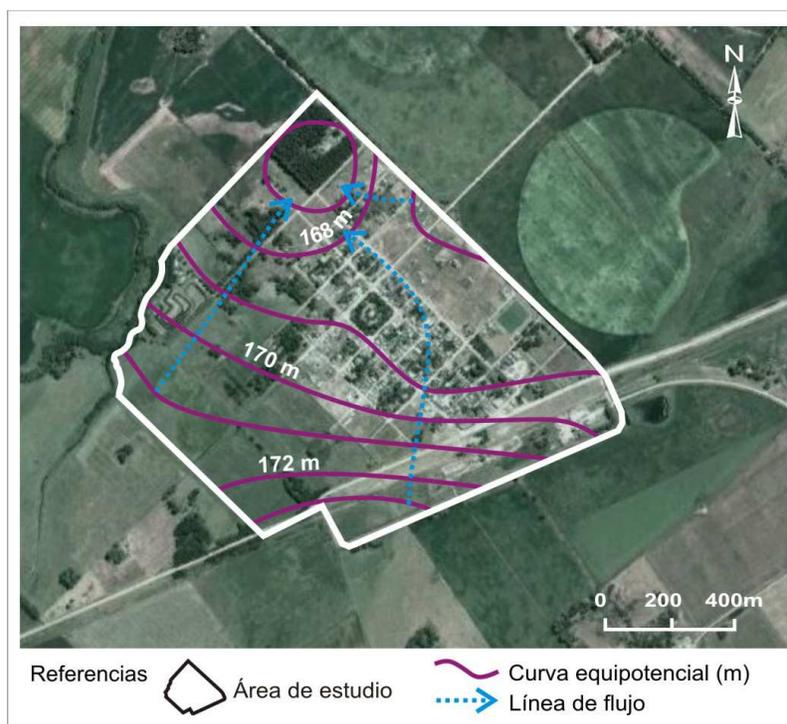


Figura 56. Mapa equipotencial para septiembre de 2009. Gardey.

El espesor de la zona no saturada osciló entre 0,5 y 8,6 metros para los distintos puntos y en la mayoría de las mediciones. Los mayores espesores se detectaron en la zona de mayor densidad de pozos de explotación, mientras que los menores en las cercanías del arroyo Chapaleofú Chico. En particular, en octubre de 2012 se observaron menores espesores con un máximo de 6,8 metros, acorde a los ascensos freáticos registrados en esa fecha.

Nuevamente se destaca que la escasa profundidad de los niveles freáticos da lugar a una elevada vulnerabilidad del acuífero a las cargas contaminantes, especialmente teniendo en cuenta la disposición de efluentes domiciliarios en pozos absorbentes que en muchos casos entran en contacto con la superficie freática.

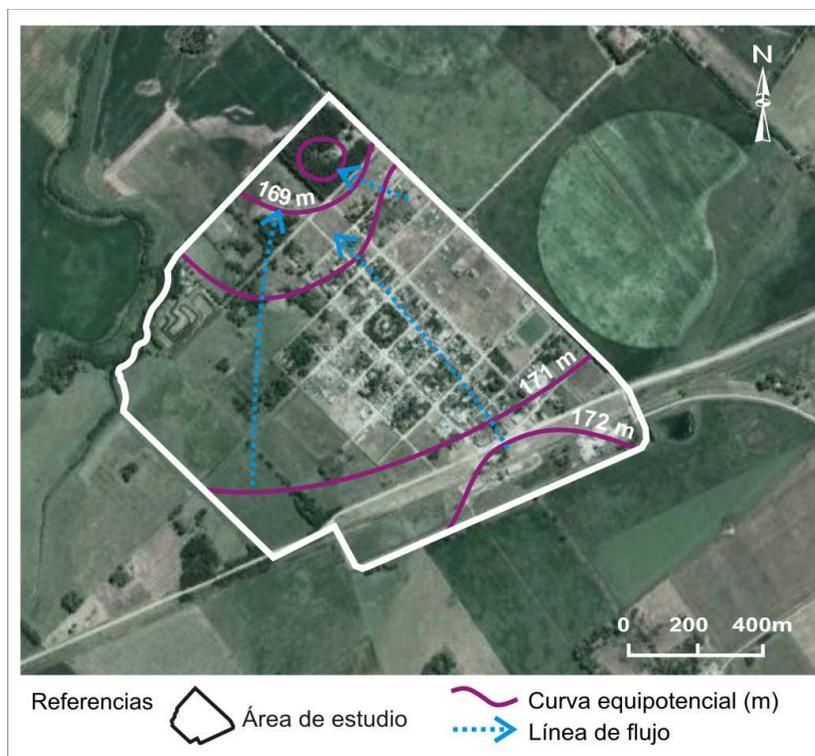


Figura 57. Mapa equipotencial para octubre de 2012. Gardey.

#### 4.5.4.3 Calidad del agua

Las muestras de agua subterránea fueron tomadas en la red de medición y muestreo antes detallada (Figura 55). Para las determinaciones físico-químicas, las muestras fueron recolectadas en 5 oportunidades: septiembre 2009, junio 2010, febrero y julio 2011 y octubre 2012. Los iones mayoritarios se analizaron en septiembre de 2009 y los resultados se presentan en la Tabla 27. La conductividad eléctrica y los nitratos se analizaron en todas las fechas y en todos los sitios de muestreo con acceso, cuyos valores se incluyen en la Tabla 28. Cabe destacar que el sitio N° 13 sólo fue accesible en la campaña de septiembre de 2009.

Por su parte, los análisis microbiológicos se efectuaron sobre 7 muestras en septiembre de 2009 y en octubre 2012, cuyos resultados se presentan en las Tablas 29 y 30, respectivamente.

El pH presentó valores entre 7,2 y 7,5. Los análisis de iones mayoritarios y los diagramas hidroquímicos (Figuras 58 y 59) demuestran una composición bicarbonatada magnésica en su mayor parte, con presencia en menor medida de los iones calcio y sodio, dando a las aguas un carácter joven por su escaso tiempo de permanencia en el acuífero, asociado a la ubicación del sector en la cabecera de cuenca del arroyo Chapaleofú Chico y su cercanía con las zonas de recarga en áreas serranas.

En las muestras N° 8 y 11 los contenidos de cloruros superan los valores regionales de 30 mg/L, pudiendo deberse a la disposición *in situ* de heces humanas en pozos absorbentes.

Tabla 27. Iones mayoritarios y pH en Gardey. Septiembre 2009.

Sitio N°	pH	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup> (mg/L)	Cl <sup>-</sup> (mg/L)	Ca <sup>++</sup> (mg/L)	Mg <sup>++</sup> (mg/L)	Na <sup>+</sup> (mg/L)	K <sup>+</sup> (mg/L)
1	7,2	414,80	4,17	33,99	38,41	28,73	52,77	5,79
8	7,4	414,80	27,96	42,99	34,46	38,86	29,66	8,20
9	7,5	439,20	14,91	26,99	39,89	25,89	52,72	7,66
11	7,3	561,20	42,21	74,98	39,29	48,48	67,36	11,43
15	7,5	463,60	13,60	28,99	48,51	33,79	31,27	7,02
Promedio	7,4	458,72	20,57	41,59	40,11	35,15	46,76	8,02

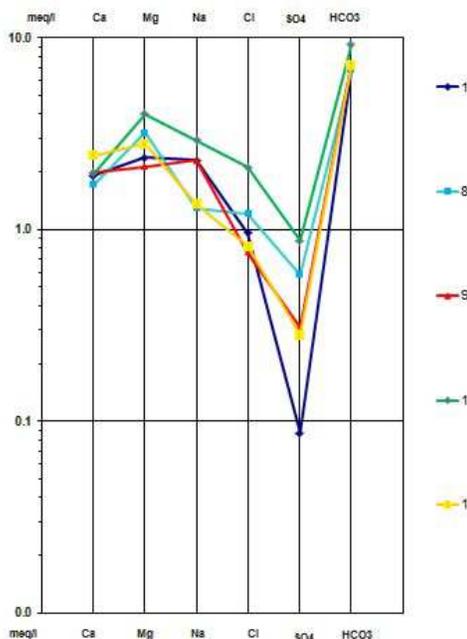


Figura 58. Diagrama de Schoeller para cinco muestras. Gardey.

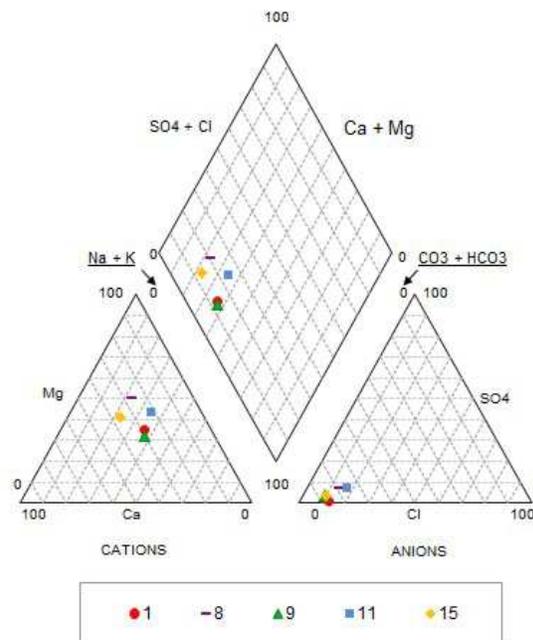


Figura 59. Diagrama de Piper para cinco muestras. Gardey.

Con respecto a la conductividad eléctrica (CE), osciló entre 670  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y 1.760  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en las distintas oportunidades de medición. Los valores medios variaron entre 867,92 y 1.014  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , alcanzando el promedio más alto en octubre de 2012. Los estadísticos muestran que el coeficiente de variación (CV) osciló entre 19,33 y 35,59%, indicando que la media de la CE es representativa del conjunto de datos.

El mayor tenor de CE en 2012 puede deberse a la posible contaminación de las aguas subterráneas ocasionada por las elevadas precipitaciones caídas en ese año, que generó el ascenso freático y el contacto de la superficie freática con los pozos absorbentes, el desborde de dichos pozos en algunos casos, así como el ingreso de agua y otras sustancias por las bocas de los pozos con inadecuada protección superficial.

En algunos puntos de muestreo (N° 1, 5, 12, 15 y 16) se produjo un incremento gradual de la CE desde 2009 a 2012. Por otra parte, se destaca el sitio N° 4, que en todas las mediciones presentó valores superiores a 1.000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , pudiendo deberse a la presencia de un foco de contaminación puntual.

En los mapas de isoconductividad para septiembre de 2009 (Figura 60) y febrero de 2011 (Figura 61) se observa el incremento de este parámetro hacia el NE, coincidiendo con la zona de mayor concentración de población y por ende de pozos absorbentes.

Tabla 28. Conductividad eléctrica (CE) en  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ) en  $\text{mg}/\text{L}$  en Gardey.

Sitio N°	Septiembre 2009		Junio 2010		Febrero 2011		Junio 2011		Octubre 2012	
	CE	Nitratos	CE	Nitratos	CE	Nitratos	CE	Nitratos	CE	Nitratos
1	763	60,40	755	55,43	812	52,52	815	53,76	900	37,22
4	1.758	386,61	1.617	324,59	1.028	147,08	Sin dato	Sin dato	1.310	150,09
5	599	39,46	674	42,53	672	42,17	822	48,70	780	28,16
6	716	12,18	762	18,12	762	3,54	742	96,58	840	12,51
8	840	64,12	830	61,65	777	62,41	814	53,31	1.020	44,09
9	715	52,96	747	56,64	687	56,24	714	26,74	760	36,31
10	672	34,28	707	43,84	676	37,86	672	37,29	980	49,19
11	1.273	147,03	1.331	210,25	1.267	190,42	1.236	129,35	1.250	91,67
12	980	90,61	1.179	88,21	1.198	86,87	1.120	85,33	Sin dato	Sin dato
13	725	41,98	Sin dato	Sin dato	Sin dato	Sin dato	Sin dato	Sin dato	Sin dato	Sin dato
14	791	30,20	764	37,99	744	38,49	Sin dato	Sin dato	Sin dato	Sin dato
15	773	39,90	826	98,76	868	112,60	931	92,47	1.120	72,18
16	820	94,20	837	37,33	924	6,72	Sin dato	Sin dato	1.180	51,96
Máximo	1.758	386,61	1.617	324,59	1.267	190,42	1.236	129,35	1.310	150,09
Mínimo	672	12,18	674	18,12	672	3,54	672	26,74	760	12,51
Promedio	878,85	84,15	919,08	89,61	867,92	69,74	874,00	69,28	1.014	57,34
Desvío	312,78	97,39	295,11	89,30	200,66	55,85	189,88	33,36	196,03	39,41
CV%	35,59	115,74	32,11	99,65	23,12	80,08	21,72	48,15	19,33	68,74

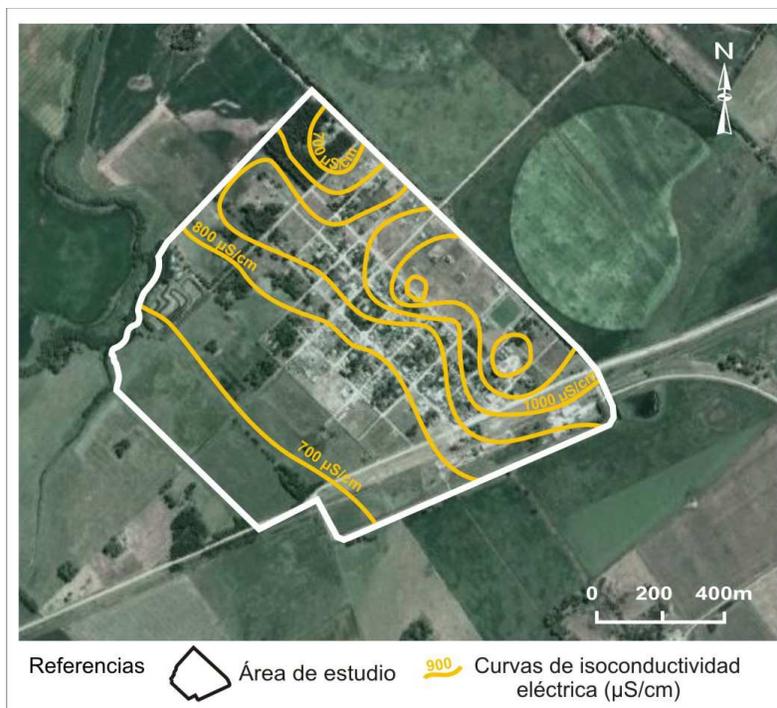


Figura 60. Mapa de isoconductividad para septiembre 2009. Gardey.

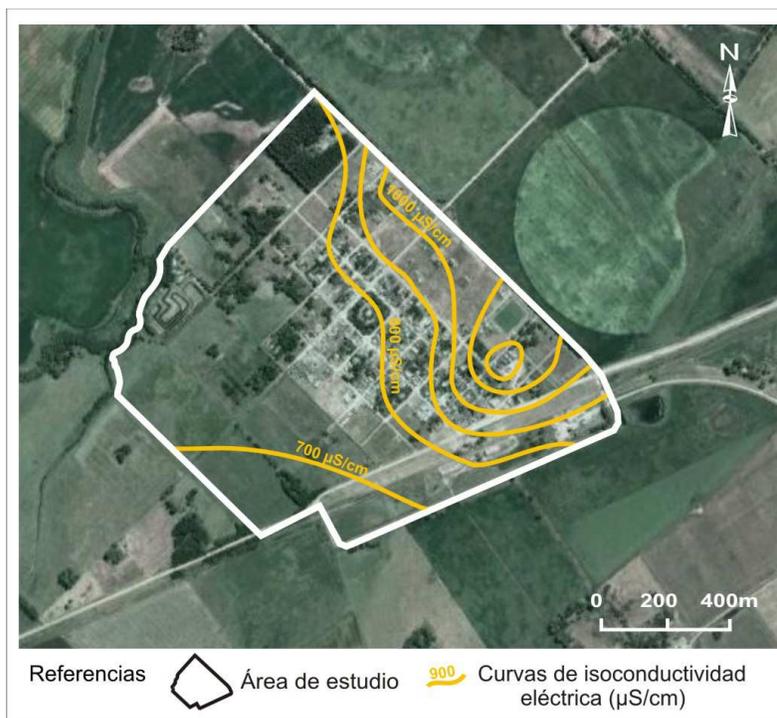


Figura 61. Mapa de isoconductividad para febrero 2011. Gardey.

En Gardey, los tenores de nitratos variaron entre 3,5 y 210 mg/L, con excepción de la muestra N° 4 que superó los 300 mg/L en dos ocasiones de medición. Los estadísticos muestran que la media no es representativa del conjunto de datos, debido a que el coeficiente de variación es superior o muy cercano al

50% en todas las campañas. La elevada dispersión de los datos se debe especialmente a las altas concentraciones detectadas en los sitios N° 4 y 11.

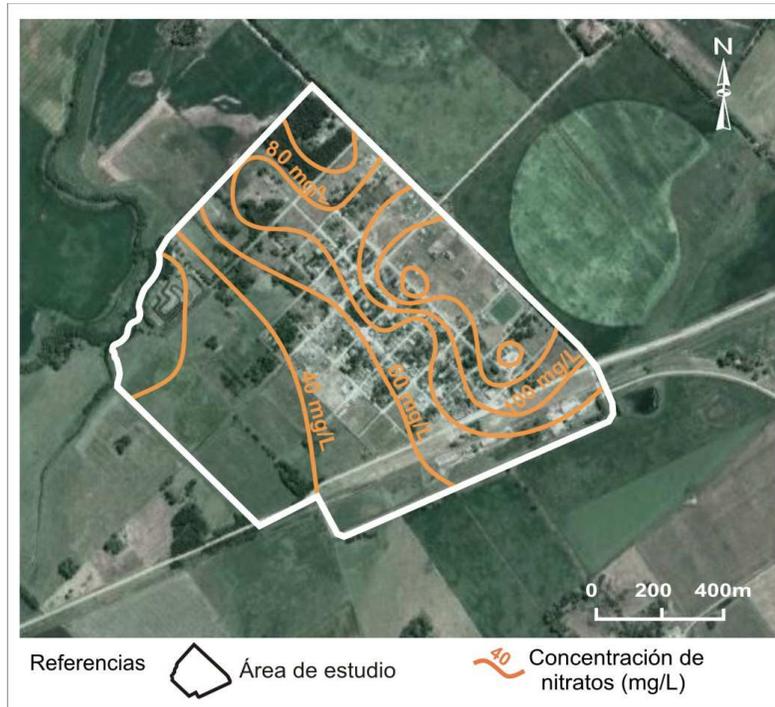


Figura 62. Mapa de isoconcentraciones de nitratos para septiembre de 2009. Gardey.

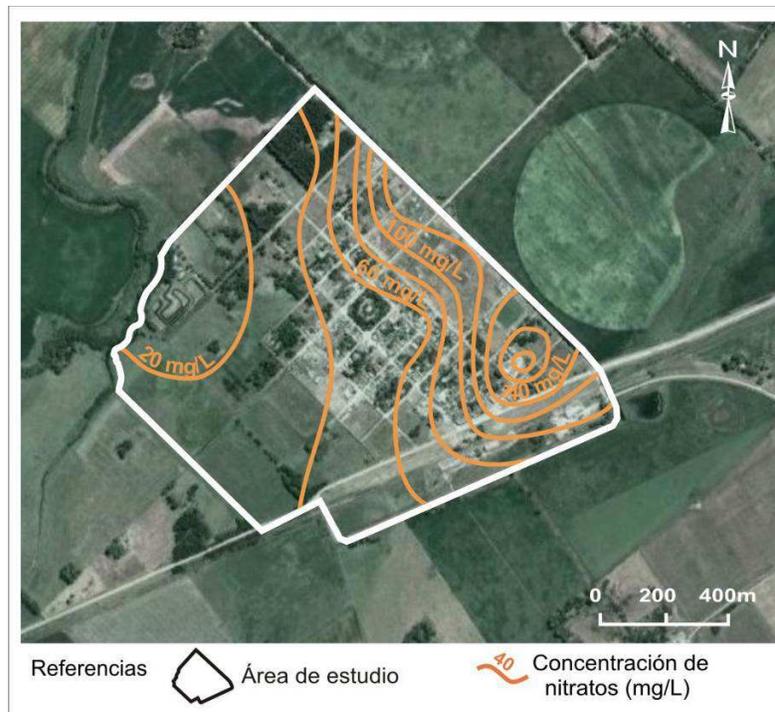


Figura 63. Mapa de isoconcentraciones de nitratos para febrero de 2011. Gardey.

En las distintas campañas se obtuvo que entre el 38% y el 58% de las muestras presentó valores superiores a 45 mg/L, nivel máximo recomendado por el CAA para el consumo humano. En los mapas de isoconcentraciones de nitratos para septiembre de 2009 y febrero de 2011 (Figuras 62 y 63), se observa el incremento en la zona densamente poblada, coincidiendo con el comportamiento de la conductividad eléctrica.

Cabe destacar que el sitio N° 1 corresponde a la perforación para abastecimiento de agua en la red municipal, presentó valores superiores a 45 mg/L de nitratos en cuatro de las cinco campañas, con un máximo de 60,4 mg/L en septiembre de 2009.

Respecto a la calidad microbiológica, de las 7 muestras analizadas en 2009 sólo 2 resultaron aptas para consumo humano, siendo una de ellas la de abastecimiento público. Las restantes superaron las recomendaciones del CAA para alguna de las bacterias incluidas. En la Tabla 29 se indican los resultados para cada sitio y su aptitud o ineptitud para su consumo según el Código Alimentario Argentino.

Tabla 29. Análisis microbiológicos en Gardey. Septiembre de 2009.

Sitio N°	Bacterias mesófilas (UFC/ml)	NMP Coliformes totales /100 ml	<i>E. coli</i> / 100 ml	<i>P. aeruginosa</i> / 100 ml	Aptitud para consumo humano (Según CAA)
1	< 10	0	Ausencia	Ausencia	Apta
4	2.900	460	Presencia	Presencia	No apta
5	2.695	210	Ausencia	Ausencia	No apta
6	85	0	Ausencia	Ausencia	Apta
8	105	43	Ausencia	Ausencia	No apta
10	110	43	Ausencia	Presencia	No apta
14	1.850	75	Ausencia	Presencia	No apta

Referencias: UFC: Unidades formadoras de colonias; NMP: Número más probable; CAA: Código Alimentario Argentino

La Tabla 29 indica que en 3 muestras las bacterias mesófilas superaron ampliamente el nivel recomendado. Con respecto a los coliformes totales, 5 de ellas se encontraron por encima del valor permitido. *Escherichia coli* fue detectada sólo en la muestra N° 4. Esto sustenta la presencia de una contaminación puntual por disposición de excretas. Por otro lado, *Pseudomonas aeruginosa* fue hallada en los puntos N° 4, 10 y 14.

En la Tabla 30 se presentan los resultados de los análisis microbiológicos realizados en 2012. Se observa que la muestra 1 correspondiente a la perforación de abastecimiento público es la única que resultó apta para consumo humano. En dos casos se presentaron valores superiores de bacterias aeróbicas mesófilas. Seis muestras tuvieron NMP de coliformes superiores a lo recomendado por el CAA. *Escherichia coli* estuvo presente en 5 muestras y *Pseudomonas aeruginosa* en una.

En octubre de 2012 se incorporó el análisis de organismos enterococos y clostridios, los cuales fueron detectados en la muestra N° 4, justamente la misma que presentó *E. coli* y *P. aeruginosa*.

Se destaca el alto grado de contaminación del punto N° 4 que superó todos los parámetros microbiológicos analizados y también fue la de mayor conductividad eléctrica y contenido de nitratos en todas las oportunidades. Como se anticipó en la Tabla 25, los propietarios de la vivienda correspondiente a la perforación N° 4 comenzaron a consumir agua de red a partir de las recomendaciones brindadas por la autora de esta investigación, ante los resultados contundentes obtenidos en los distintos análisis de agua subterránea.

Tabla 30. Análisis microbiológicos en Gardey. Octubre de 2012.

Sitio N°	Bacterias mesófilas (UFC/ml)	NMP Coliformes totales /100 ml	<i>E. coli</i> / 100 ml	<i>P. aeruginosa</i> / 100 ml	Enterococos	Clostridios	Aptitud para consumo humano (Según CAA)
1	60	0	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Apta
4	2.250	460	Presencia	Presencia	Presencia	Presencia	No apta
5	40	23	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	No apta
6	140	93	Presencia	Ausencia	Ausencia	Presencia	No apta
8	1.300	1.100	Presencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	No apta
10	10	9	Presencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	No apta
15	90	23	Presencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	No apta

Referencias: UFC: Unidades formadoras de colonias; NMP: Número más probable; CAA: Código Alimentario Argentino

#### 4.5.4.4 Transformaciones territoriales

En la localidad de Gardey se ha estado produciendo un proceso de transformación territorial dado, principalmente, por la creciente ocupación de lotes para la construcción de viviendas. Villalba *et al.* (2012) dan cuenta de los distintos cambios territoriales en la localidad, que evidencian el posicionamiento de Gardey como espacio de residencia permanente alternativo a la ciudad de Tandil, incluso con la instalación de habitantes del Área Metropolitana de Buenos Aires. Esta transformación se debe principalmente a la presión y especulación inmobiliaria ocurrida en la ciudad de Tandil, sumada a la proximidad y conectividad entre dicha ciudad y Gardey.

Para analizar las presiones que dichos cambios generan sobre los recursos hídricos subterráneos en la localidad se analizaron los usos del suelo delimitando un área para el cálculo de 1,38 km<sup>2</sup>. La Figura 64 presenta los usos del suelo y sus variaciones para los años 2002 y 2012, mientras que la Tabla 31 detalla las superficies y porcentajes de cada uso para el mismo período.

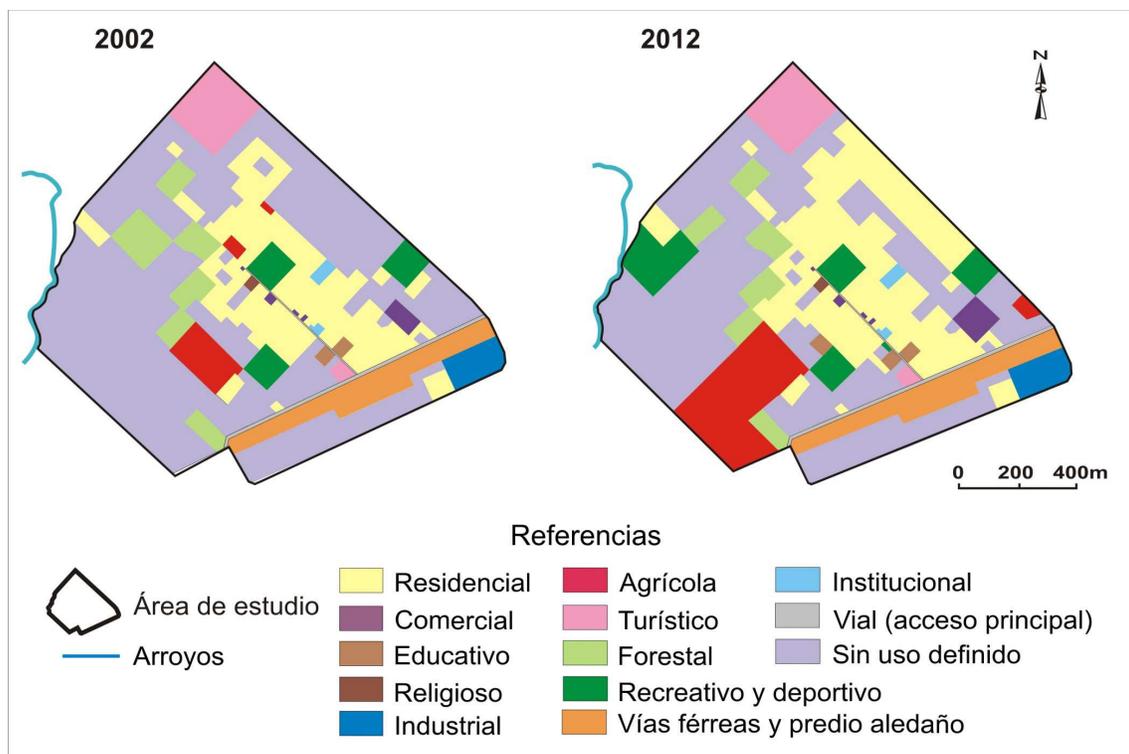


Figura 64. Usos del suelo y variaciones en Gardey. Período 2002-2012.

Tabla 31. Usos del suelo en Gardey. Período 2002-2012.

Usos	2002		2012	
	ha	%	ha	%
Residencial	26,57	19,26	35,15	25,47
Comercial	0,83	0,60	1,29	0,93
Educativo	0,48	0,35	0,80	0,58
Religioso	0,12	0,08	0,12	0,08
Industrial	2,45	1,78	2,45	1,78
Agrícola	3,26	2,36	14,35	10,40
Turístico	5,97	4,33	5,97	4,33
Forestal	7,29	5,28	5,70	4,13
Recreativo y deportivo	4,06	2,94	6,47	4,69
Vías férreas y predio Ferrocarril	8,17	5,92	8,17	5,92
Institucional	0,21	0,15	0,21	0,15
Vial (acceso principal)	2,03	1,47	2,03	1,47
Sin uso definido	76,56	55,48	55,29	40,07
<b>Total</b>	<b>138</b>	<b>100,00</b>	<b>138</b>	<b>100,00</b>

El análisis de la Tabla 31 y la Figura 64 indica que los usos del suelo detectados fueron: residencial (viviendas particulares), comercial (estación de venta de combustible, Cooperativa de cereales, almacenes), educativo (escuelas primaria y secundaria y Jardín de infantes), religioso (Capilla San Antonio de Padua), industrial (planta de fabricación de agroquímicos ASP), agrícola (cultivos), turístico

(Cabañas El Ota y Antiguo Almacén Vulcano), forestal (plantaciones), recreativo y deportivo (plaza San Martín, predios deportivos de los clubes Racing y Ferroviarios de Gardey), institucional (Delegación Municipal, Centro de atención primaria a la salud, Obras Sanitarias y corralón municipal), sin uso definido (todos aquellos lotes baldíos o libres de un uso específico), vías férreas y predio de Ferrocarril del Sud, vías de acceso (Avenida Tandil y acceso pavimentado que conecta con la Ruta Nacional N° 226).

Los usos que aumentaron en superficie fueron: el residencial en 6,21% debido principalmente a la apertura de loteos, venta de lotes sin uso y construcción de viviendas particulares sobre todo al NE del área de estudio; agrícola en 8,04% en terrenos previamente sin uso definido. También aumentaron, aunque en menor medida, el uso comercial motivado por el desarrollo de la Cooperativa de cereales, el educativo por la construcción de un Jardín de Infantes en un predio sin uso definido y el recreativo-deportivo debido a la construcción de una pista para motos. Por otra parte, disminuyeron aquellos lotes baldíos o sin una utilización definida que representaron un 15,4% menos que en 2002, y en menor medida el uso forestal. El resto de los usos mantuvieron la misma superficie durante el período analizado.

Ante el crecimiento poblacional de la localidad (de 501 habitantes en 2001 a 640 en 2010) y el incremento en el uso del suelo residencial, y a su vez relacionando estas transformaciones con los resultados de calidad del agua, se pone de manifiesto la necesidad de acompañar dichos cambios territoriales con medidas vinculadas al abastecimiento de servicios sanitarios. La necesidad de dotar de infraestructuras de servicios básicos, principalmente agua y red cloacal a la localidad, se encuentra con la dificultad que significa afrontar los costos de construcción de dichos servicios con respecto al número de usuarios beneficiados.

Hasta el momento de finalización de la presente investigación, no se conocieron proyectos o avances en la ampliación y mejora del tendido de la red como así tampoco en la construcción de sistema cloacal.

#### **4.5.5 Análisis comparativo entre casos de estudio**

Se comparan los cuatro sectores de estudio investigados, mediante el análisis de distintas variables centrales, como lo son el modo de abastecimiento de agua en cada sector, las cualidades socio-económicas más relevantes, las características de las perforaciones y sus problemas para la extracción, la calidad del recurso detectada en cada caso y los principales focos contaminantes presentes.

Del análisis comparativo presentado en la Tabla 32 se desprende que la problemática hídrica en estos casos de estudio tiene causas comunes, determinadas por la cobertura parcial o ausencia de agua de red, la inexistencia de red cloacal en los cuatro casos y el escaso conocimiento sobre el funcionamiento del sistema hídrico subterráneo. La conjunción de dichas causas junto al incumplimiento de las normas de seguridad ambiental entre los sitios de captación y descarga de los efluentes domiciliarios determina un ciclo local de extracción-transporte-disposición cuyo resultado inevitable es la contaminación del agua,

evidenciada a través de los contenidos de nitratos y los microorganismos patógenos que exceden lo recomendado por la legislación argentina. Esto significa que se evidencia una vinculación hidrodinámica entre los sitios de disposición de efluentes y las perforaciones de abastecimiento, poniendo de manifiesto que la degradación de la calidad del agua subterránea está relacionada a la dispersión de los contaminantes acorde al flujo subterráneo natural, pero también se ve afectada por la existencia, y en muchos casos gran densidad, de pozos de extracción que alteran el flujo natural y lo concentran.

Además, los modos de uso se caracterizan por la utilización de pozos y perforaciones particulares con importantes deficiencias en su diseño y protección sanitaria. En las localidades rurales donde existe cobertura parcial de agua de red, cuyas perforaciones son de adecuada construcción, simultáneamente se produce el uso del recurso en forma particular.

Los problemas detectados en las perforaciones, la presencia de focos contaminantes y el consumo de agua no apta ocurren independientemente del posicionamiento socioeconómico de la población. La principal diferencia radica en que los sectores de mejor nivel socioeconómico pueden acceder a realizar nuevas y mejores perforaciones así como poseer sistemas de cañerías y tanques de almacenamiento en buen estado, e incluso adquirir agua potable envasada para el consumo humano.

Tabla 32. Análisis comparativo de los casos de estudio

	Cerro Los Leones	Don Bosco	María Ignacia	Gardey
Modos de abastecimiento de agua	Hasta el 2010 se realizaba en su totalidad por perforaciones particulares. Desde ese año hay cobertura parcial de agua de red a cargo de OST.	Exclusivamente mediante perforaciones particulares.	Una parte de la localidad posee agua de red a cargo de una Cooperativa y el resto extrae mediante pozos particulares.	Una parte de la localidad posee agua de red a cargo de OST y el resto extrae mediante perforaciones particulares.
Características socio-económicas	Población de nivel socioeconómico medio y bajo. Predominan viviendas de uso permanente, algunos comercios y actividades vinculadas a la construcción y al ámbito agropecuario	Población de nivel socioeconómico medio-bajo, junto a la reciente instalación de habitantes de nivel socioeconómico alto. Coexisten viviendas de uso permanente con alojamientos turísticos. Presencia creciente de actividades turísticas y recreativas.	Población de nivel socioeconómico medio y bajo. Predominan viviendas de uso permanente, comercios y actividades vinculadas al ámbito rural.	Población de nivel socioeconómico medio y bajo. Construcción reciente de viviendas de clase alta. Predominan viviendas de uso permanente, comercios y actividades vinculadas al ámbito rural.
Características de las perforaciones y pozos	Deficiencias en el diseño y construcción en las perforaciones domiciliarias.	Deficiencias en el diseño y construcción en las perforaciones particulares, especialmente las más antiguas.	Adecuado diseño en las perforaciones de la Cooperativa. Deficiencias en el diseño y construcción en las perforaciones domiciliarias.	Adecuado diseño en las perforaciones de OST, aunque una está fuera de funcionamiento. Deficiencias en el diseño y construcción en las perforaciones domiciliarias

Focos contaminantes	Pozos absorbentes. Criaderos de animales. Depósitos de residuos a cielo abierto.	Pozos absorbentes. Antiguo basural y matadero abandonados.	Pozos absorbentes. Criaderos de animales. Basural a cielo abierto. Cementerio.	Pozos absorbentes. Un tambo. Planta de fabricación de agroquímicos.
Problemas en la extracción del agua	Secado de pozos en épocas de escasas precipitaciones	Secado de pozos en épocas estivales y de escasas precipitaciones	Sin problemas al respecto. Las autoridades de la Cooperativa atribuyen el descenso de niveles a los cultivos de papa realizados en la zona.	Sin problemas al respecto.
Calidad del agua	Problemas de calidad química y microbiológica en pozos particulares	Problemas de calidad química y microbiológica en pozos particulares	El agua de red resultó apta para consumo humano. Problemas de calidad química y microbiológica en pozos particulares	El agua de red supera el valor máximo recomendado de nitratos para consumo humano. Problemas de calidad química y microbiológica en pozos particulares
Sistema cloacal	No existe sistema cloacal y no se conocen proyectos al respecto.	No existe red cloacal y no se conocen proyectos al respecto.	No posee red cloacal. Existe un proyecto de tendido cloacal aprobado, con dificultades para su inicio.	No existe sistema cloacal y no se conocen proyectos al respecto.

## 4.6 USO Y GESTIÓN DEL AGUA EN ACTIVIDADES AGROPECUARIAS

### 4.6.1 Manejo del agua en el cultivo de papa bajo riego

La producción de papa se realiza en el partido de Tandil principalmente al SE del mismo, en cercanías del partido de Balcarce, así como también al E y N del distrito.

A pesar de las posibilidades de desarrollo del cultivo bajo condiciones de secano, desde 1975 se realiza la aplicación de riego complementario en la actividad debido al aumento de los rendimientos que, según los productores, ronda entre 40 y 60%.

En base a la información recabada en las entrevistas a integrantes de Centro de Productores de Papa de Tandil, la variedad más utilizada en la zona es Spunta. Se realiza la producción semitardía y la siembra comienza alrededor del 15 de octubre, transcurriendo 120 días hasta la cosecha, que ocurre alrededor del 15 de febrero.

Los productores de papa de Tandil generalmente trabajan en unidades de aproximadamente 50 hectáreas, las cuales son mayormente arrendadas por el período de una campaña.

La aplicación de riego complementario totaliza entre 40 y 60 días en la campaña, comenzando generalmente el 10 de noviembre, hasta una fecha media del 30 de enero. Según los productores, la modalidad de aplicación no es variable de año en año. Esto se debe a que los productores no realizan

mediciones de la humedad del suelo, sino que llevan adelante la aplicación de riego complementario con carácter empírico.

El sistema de riego más utilizado en la zona es por aspersión, incluyendo dos tipos de equipos. Por un lado, los sistemas formados por cañerías de movimiento manual, que se disponen en el piso y sobre las cuales se colocan los aspersores. Éstos riegan un área en forma circular y, luego de un tiempo determinado, se traslada todo el equipo a otra zona del área cultivada, es decir que constituyen un sistema portátil. El otro sistema de riego es el formado por un cañón regador con un pico aspersor de mayor diámetro y un enrollador de la tubería. Este sistema posee un motor que enrolla la tubería a medida que riega un área determinada en forma circular. Cada equipo cubre, mediante el movimiento manual o mecanizado, un área aproximada de 40-45 hectáreas.

Según los productores, la aplicación de riego a lo largo de la campaña desde octubre a febrero se distribuye de la siguiente manera: no se realizan riegos en octubre, luego se aplican unos 50 mm en noviembre, mientras que en diciembre y enero ocurren los mayores riegos alcanzando 110 mm en cada mes, y posteriormente no se riega en febrero. La aplicación media es de 275 mm para toda la campaña.

Para obtener el agua para el riego, se realizan perforaciones para extraer el recurso del acuífero freático. Como se anticipó en el apartado 1.9 Marco Legal, la Ley 12.257 regula la realización de perforaciones para riego y especifica que se debe solicitar el permiso de perforación y gestionar una concesión. Además, dicha Ley indica que el solicitante de la concesión tiene la obligación de informar a la Autoridad del Agua (ADA) sobre su proyecto de captación.

Sin embargo, los productores no informan acerca de su construcción al ADA por lo cual no efectúan el estudio hidrogeológico requerido ni tampoco reciben controles por parte de dicho organismo sobre la obra de captación. En los recorridos de campo y mediante los testimonios de informantes se corroboró que las perforaciones en general no están realizadas con criterios adecuados en su diseño y mayormente no poseen cañería de encamisado. Además, suelen hacerse varias perforaciones dentro de una misma unidad de producción, decidiendo el lugar de ubicación por cercanía o comodidad, sin mantener distancias respecto a otros pozos, a cuerpos de agua o a fuentes de contaminación.

Además, como muchas unidades son tierras arrendadas por períodos de un año, una vez que finaliza la campaña, muchas perforaciones quedan abandonadas y sin protección superficial, incluso se conocen casos en que las perforaciones son rellenadas con residuos de distinto origen, favoreciendo la contaminación del acuífero.

Según los productores, en general se extraen caudales que oscilan entre 80 y 120 m<sup>3</sup>/hora. Es importante destacar que en los campos donde se utilizan aspersores y cañerías de movimiento manual, las aplicaciones de riego se extienden por aproximadamente 18 horas al día, lo cual implica entre 1.440 y 2.160 m<sup>3</sup>/día de agua. En cambio, en los campos que se utilizan un cañón regador con un enrollador, este equipo permite una utilización continua las 24 horas, con lo cual el caudal aplicado puede alcanzar entre 1.920 y 2.880 m<sup>3</sup>/día.

La autora de esta investigación en su Tesis de Licenciatura (Rodríguez, 2005) determinó las necesidades de riego complementario para el cultivo de papa, diferenciando los valores por cada una de las fases que atraviesa el cultivo semitardío, desde octubre a febrero. Dichas necesidades fueron estimadas para distintos tipos de suelos. Tal como se indicó en la caracterización del área de estudio, los suelos predominantes en las zonas llanas y periserranas del partido de Tandil son Argiudoles típicos. La Tabla 33 presenta los resultados de las necesidades de riego para tres unidades cartográficas predominantes en la zona (determinadas para un período de retorno de 4/5 años). Para la presente investigación, se considera como valor medio de necesidades de riego el equivalente a 198,1 mm.

Asimismo, Rodríguez (2005) calculó la evapotranspiración del cultivo (ETc) para cada fase del mismo, obteniéndose un valor de ETc total de 510 mm.

Tabla 33. Necesidades de riego del cultivo de papa semitardía. Fuente: Rodríguez (2005)

Unidad cartográfica	Tipo de suelo	Necesidades de riego (mm)					
		Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Total
Az 12	Argiudol típico (100%)	0	0	84,7	79,9	31,8	196,4
Ta 19	Argiudol típico (100%)	0	0	86,8	80	31,8	198,6
Ta 20	Argiudol típico (100%)	0	0	86,8	81,5	31	199,3

En este punto y como aporte a esta investigación se ha estimado, como indicador del uso del agua en el cultivo de papa, su huella hídrica según Chapagain y Orr (2009) a partir de los antecedentes y la información antes descripta. Dicha estimación constituye sólo un componente dentro de la huella hídrica del partido de Tandil, ya que deberían considerarse los distintos usos antrópicos del recurso. En ese sentido, se espera seguir trabajando en futuras investigaciones.

Como se indicó en la Metodología, en primer lugar se determinó el volumen de cultivo producido (Pc) en t/ha correspondiente a la campaña 2011-2012. Según la información brindada por el Ing. Agr. Carlos Herrera de la industria Mc Cain, en la campaña 2011-2012 se cosecharon 210.000 toneladas de papa, las que fueron obtenidas de una superficie de 4.300 hectáreas. Entonces:

$$Pc = 210.000 \text{ t} / 4.300 \text{ ha} = 48,83 \text{ t/ha}$$

Seguidamente se calculó el volumen de agua usado en la producción del cultivo (UAc). Dicho volumen está compuesto de dos partes:

$$UAc \text{ (m}^3\text{/ha)} = UA_{\text{evaporación}} + UA_{\text{no-evaporativo}}$$

Para determinar UA<sub>evaporación</sub> se calcularon primero sus dos componentes:

1) UA<sub>verde</sub>: evaporación de las precipitaciones caídas sobre la superficie cultivada. Este dato equivale a la evapotranspiración del cultivo (ETc).

Según Rodríguez (2005) la ETc para todo el período de cultivo de la papa (octubre a febrero) es de 510 mm. Ese valor expresado en volumen por hectárea representa el uso del agua verde (UAverde):

$$UAverde = 5.100 \text{ m}^3 / \text{ha}$$

Una vez obtenido el valor de UAverde se lo relaciona con el rendimiento obtenido en t/ha (Pc) para determinar el agua virtual contenida “verde” (AVCverde).

$$AVCverde = UAverde \cdot Pc$$

$$AVCverde = 5.100 \text{ m}^3/\text{ha} / 48,83 \text{ t/ha} = 104,44 \text{ m}^3/ \text{t}$$

2) UAazul: evaporación del agua de riego aplicada sobre la superficie cultivada.

Para determinarlo, Chapagain y Orr (2009) indican que equivale a la suma de las necesidades de riego mínimas más la irrigación efectiva. Las necesidades de riego son de 198,1 mm (Rodríguez, 2005). Por su parte, la irrigación efectiva equivale a la aplicación promedio de 275 mm en cada campaña octubre-febrero afectada por un coeficiente de eficiencia del método de riego. Considerando que el riego por aspersión tiene una eficiencia del 67% (Doorenbos y Pruitt, 1990), la irrigación efectiva es de 184 mm.

La suma de las necesidades de riego con la irrigación efectiva totaliza 382,1 mm. Ese valor debe ser convertido a volumen teniendo en cuenta la superficie sembrada de 4.300 ha. Entonces:

$$UAazul = 3.821 \text{ m}^3 / \text{ha}$$

Una vez obtenido el valor de UAazul se lo relaciona con el rendimiento obtenido en t/ha (Pc) para determinar el agua virtual contenida “azul” (AVCazul).

$$AVCazul = UAazul \cdot Pc$$

$$AVCazul = 3.821 \text{ m}^3/\text{ha} / 48,83 \text{ t/ha} = 78,25 \text{ m}^3/ \text{t}$$

3) UAgris: Como se anticipó en la Metodología, existe un tercer componente que es el “uso del agua gris” (UAgris). Dicho componente ha sido determinado a partir de la aplicación del fertilizante nitrogenado urea y su incorporación al agua subterránea.

Considerando la aplicación de 150 kg/ha de urea comercial y teniendo en cuenta que el 46% de la misma está compuesto por nitrógeno, se obtiene que el aporte es de 69 kg N/ha. Ese contenido de nitrógeno expresado como nitrato alcanza 310,5 kg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/ha.

Para diluir ese contenido de nitratos al valor permisible de 45 mg/L se requiere un volumen de 6.900.000 L/ha, que equivale a 6.900 m<sup>3</sup>/ha.

Entonces:

$$UAgris = 6.900 \text{ m}^3 / \text{ha}$$

Una vez obtenido el valor de  $UA_{gris}$  se lo relaciona con el rendimiento obtenido en t/ha ( $P_c$ ) para determinar el agua virtual contenida “gris” ( $AVC_{gris}$ ).

$$AVC_{gris} = UA_{gris} \cdot P_c$$

$$AVC_{gris} = 6.900 \text{ m}^3/\text{ha} / 48,83 \text{ t/ha} = 141,30 \text{ m}^3/\text{t}$$

De este modo se estimó la huella hídrica (HH) del cultivo de papa en Tandil, que equivale a una relación de volumen en base al cultivo producido.

$$HH = AVC_{verde} + AVC_{cazul} + AVC_{gris}$$

$$HH = 104,44 \text{ m}^3/\text{t} + 78,25 \text{ m}^3/\text{t} + 141,30 \text{ m}^3/\text{t} = 323,99 \text{ m}^3/\text{t}$$

Este dato final aquí obtenido es acorde al determinado por Mekonnen y Hoekstra (2011), en cuyo trabajo indican valores promedio a nivel global de la huella hídrica de cultivos (período 1996-2005). Para la papa, obtuvieron que la suma del agua virtual contenida azul, verde y gris alcanzó  $287 \text{ m}^3/\text{t}$ .

El resultado de la huella hídrica constituye un importante indicador del uso del agua subterránea en Tandil. Sin embargo, se requiere además la consideración de otros indicadores referidos a la gestión del recurso, como se plantea en el Capítulo 5.

Considerando que el cultivo de papa se realiza en zonas de piedemonte y llanuras dentro del partido de Tandil, se estimó la relación entre la extracción del agua para riego y la recarga subterránea anual. Tomando como antecedente lo estimado por Barranquero *et al.* (2012a) para la cuenca del arroyo Languyú, la recarga en áreas de piedemonte y llanura oscila entre el 15 y el 10% de la precipitación total. Teniendo en cuenta un valor medio del 12,5% y de acuerdo a la precipitación media anual para Tandil de 838 mm, se obtiene una recarga de 104,75 mm/año. Por lo tanto considerando que el cultivo de papa abarcó 4.300 has en la campaña 2011-2012, en esa área se produciría una infiltración neta de unos  $4,5 \text{ hm}^3$ . Al mismo tiempo, en esa superficie los productores extrajeron agua del acuífero para riego aplicando una lámina media de 275 mm, que multiplicada por el área del cultivo brinda un total de extracción de  $11,82 \text{ hm}^3$ .

Como se puede observar el volumen de extracción de agua para riego de papa ( $11,82 \text{ hm}^3$ ) es ampliamente superior al volumen de recarga específicamente considerando el área cultivada ( $4,5 \text{ hm}^3$ ). Obviamente hay que tener en cuenta que el recurso hídrico subterráneo se alimenta regionalmente en toda el área del partido de Tandil ( $4.935 \text{ km}^2$ ) y que esta estimación es una simplificación porque no están siendo considerados los procesos de transmisividad del agua en el acuífero, no obstante no habría que perder de vista que al menos localmente, al superarse el volumen de las reservas reguladoras, pueden manifestarse ciertos problemas debidos al descenso del nivel freático a partir del uso intensivo del acuífero mediante esta actividad.

#### 4.6.2 Modos de uso del agua en tambos

Como ya ha sido comentado, otra actividad de importancia en la zona en relación a la gestión del recurso hídrico la constituyen los tambos. En los establecimientos visitados (Figura 65) la extracción de agua subterránea se efectúa en su totalidad mediante perforaciones con bombas automáticas, la mayoría colocadas en superficie y en menor medida sumergidas. Sólo en un caso se utiliza un molino. Se detectó que el 66,7% de las perforaciones posee encamisado, mientras que sólo el 46% presentó una cobertura superficial adecuada para la protección sanitaria. Las profundidades de las mismas oscilaron entre 9 y 45 metros, aunque en la mitad de los sitios se desconocía ese dato.

Con respecto a la protección sanitaria de las perforaciones, se evidenciaron casos con posibilidad del ingreso de sustancias desde la superficie, lo cual se agrava cuando además están ubicadas en las cercanías a los sitios de circulación de animales.

En cuanto a la presencia de focos contaminantes cercanos a las perforaciones, se destacan las heces animales en los corrales de encierre, los sitios de vertido de efluentes y los pozos absorbentes de las viviendas o establecimientos. En ese sentido, se detectó que las perforaciones se encuentran en todos los casos a menos de 15 metros de los corrales de ordeño. Mientras que las distancias de las mismas respecto a los lugares de vertidos de efluentes varían entre 10 y 500 metros, siendo en el 61,5% de los casos menor a 100 metros. Asimismo, los pozos absorbentes se ubican entre 8 y 50 m respecto a la perforación de abastecimiento, observándose que en 9 casos dichos pozos distan menos de 15 metros.

El escaso distanciamiento entre las fuentes contaminantes y las perforaciones facilita la comunicación a través del flujo subterráneo de la contaminación originada por los vertidos posibilitando el deterioro de la calidad tanto química como microbiológica del recurso.

Entre los principales usos del agua dentro de los tambos se incluyen, en primer lugar, las placas de enfriamiento de la leche, cuyo efluente es agua limpia con la misma calidad con la que ingresó, aunque con mayor temperatura, poniendo de relevancia su posibilidad de recuperación y reúso.

En segundo lugar de importancia, se utiliza para la limpieza de los corrales de ordeño, la cual se realiza mediante una manguera a presión dos veces por día con una duración promedio de 40 minutos cada vez. Esta situación implica un importante consumo de agua y una elevada generación de efluentes con alto contenido orgánico proveniente de las heces de animales. En las Figuras 66 y 67 se presentan corrales antes y después de su limpieza. Según MGAyP (2008), el volumen requerido para este uso tiene un valor estándar de 50 litros/animal/día. Teniendo en cuenta que el número de animales en los tambos visitados osciló entre 130 y 600 cabezas de ganado vacuno, se estima un volumen que varía entre 7.500 y 30.000 litros diarios en cada uno de los sitios. El consumo de agua en este uso podría ser reducido mediante la utilización de otras técnicas de limpieza, como por ejemplo una limpieza mecánica y recolección de los excrementos previo al lavado del tambo.

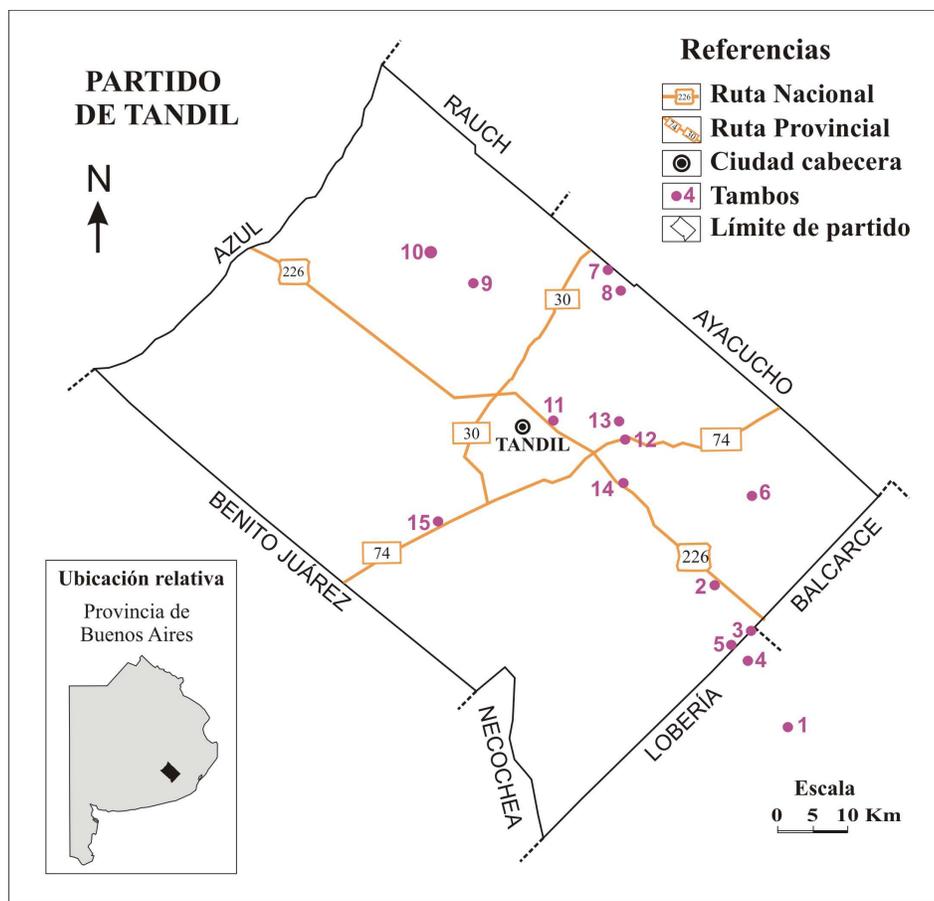


Figura 65. Ubicación de los tambos visitados.



Figura 66. Contenido de heces en corrales de encierre (Sitio N° 1)



Figura 67. Corrales de encierre luego del lavado con manguera a presión (Sitio N° 4)

En las entrevistas realizadas, los encargados de los tambos respondieron que desconocían los volúmenes consumidos en los distintos usos. Esto se debe a que no existen caudalímetros ni mediciones de ningún tipo. Por esto, se indagó sobre el tiempo de funcionamiento de las bombas de agua, obteniendo un mínimo de 6 horas diarias y un máximo de 24, con un promedio de 13,5 horas de bombeo.

En todos los tambos se determinó que la fuente de agua para consumo humano es la misma que se utiliza en el manejo del establecimiento. Por ende, merece especial atención su calidad para tal uso.

#### 4.6.2.1 Manejo de efluentes

En todos los tambos visitados no se realiza tratamiento de efluentes, sino que éstos se vierten directamente en cavas o superficialmente. Una vez que se lleva a cabo la limpieza de los corrales de encierre con agua, los efluentes circulan por gravedad hacia cavas o zonas bajas (Figuras 68 y 69).

Seis de los establecimientos utilizan dos cavas para los vertidos (Figura 70), mientras que otros seis poseen una sola. Por otro lado, dos tambos (N° 10 y 11) derraman sus efluentes directamente sobre el terreno mientras que en el sitio N° 7 los vierten en un cuerpo de agua superficial (Figura 71).



Figura 68. Compuerta para salida de efluentes sobre el terreno hacia las cavas (Sitio N° 4)



Figura 69. Salida de efluentes desde el corral hacia la cava (Sitio N° 5)



Figura 70. Presencia de dos cavas paralelas (Sitio N° 3)



Figura 71. Vertido de efluentes en un cuerpo de agua superficial (Sitio N° 7)

Con respecto a las dimensiones de las cavas, se observaron tamaños desde 160 m<sup>2</sup> hasta 3.500 m<sup>2</sup> y se registraron profundidades de hasta 6 metros.

Como resultado de las mediciones del nivel freático en las perforaciones se obtuvo que el espesor de la zona no saturada varió entre 4 y 7,2 m. Esto indica que existen sitios en los que la profundidad de la

cava es mayor que el espesor no saturado, con lo cual el efluente está en contacto con la superficie freática y por ende genera la contaminación del agua.

Si bien los efluentes son vertidos sin tratamiento, se detectaron algunas diferencias entre los tambos visitados. En el sitio N° 5 la cava se encuentra impermeabilizada mediante un material plástico, por lo cual funcionaría como una laguna de oxidación sin filtración hacia el suelo. Por otra parte, en el tambo N° 4 los efluentes se dirigen hacia dos cavas, en la primera quedan alojados los residuos sólidos y por rebalse los líquidos pasan hacia la segunda. En este sitio se retiran periódicamente los residuos sólidos de la primera cava y se acumulan en montículos, al lado del tambo (Figura 72). Este material sólido es dejado secar y luego se utiliza para la fertilización de lotes. Por otra parte, considerando que uno de los efluentes más importantes de los tambos resulta del proceso de enfriamiento de la leche, se detectó que éste es también vertido junto a las heces animales (Figura 73).



Figura 72. Acumulación de excrementos en cercanías del tambo N° 4



Figura 73. Vertido del efluentes de enfriamiento de leche junto a los excrementos (Sitio N° 2)

#### 4.6.2.2 Calidad del agua

Los resultados de los análisis físico-químicos se presentan en la Tabla 34. Cabe mencionar que se requieren investigaciones más detalladas sobre la calidad del agua en este tipo de actividad, considerando la presencia de otras sustancias, así como la caracterización de los contaminantes existentes en los efluentes de tambos y su transporte hacia el acuífero.

La conductividad eléctrica (CE) presentó valores entre 706 y 1.358  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , con un promedio de 867,4  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Considerando los antecedentes enunciados en el Capítulo 3 sobre el partido de Tandil, los valores superiores a 800  $\mu\text{S}/\text{cm}$  dan indicios de una posible contaminación puntual. Se destaca que en nueve sitios la CE fue superior a dicho valor.

Los iones mayoritarios indican que las muestras son bicarbonatadas de dos tipos: sódicas y magnésico-cálcicas. La diferencia catiónica presente obedece a la localización de los tambos, ya que las muestras bicarbonatadas magnésico-cálcicas se sitúan en el centro del distrito coincidente con la zona serrana de cabecera de cuencas, como lo son los tambos N° 11 a 15; mientras que las bicarbonatadas

sódicas corresponden a sitios ubicados aguas abajo de las cuencas de los arroyos Langueyú, Chapaleofú y Napaleofú (Tambos N° 3, 6, 8, 9 y 10) y la presencia de sodio es indicadora del mayor recorrido y tiempo de contacto del agua subterránea. Las Figuras 74 y 75 presentan los diagramas hidroquímicos para diez muestras en los que se observan los dos grupos considerados.

Tabla 34. Resultados físico-químicos en los tambos.

Sitio N°	pH	CE ( $\mu$ S/cm)	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup> (mg/L)	Cl <sup>-</sup> (mg/L)	Ca <sup>++</sup> (mg/L)	Mg <sup>++</sup> (mg/L)	Na <sup>+</sup> (mg/L)	K <sup>+</sup> (mg/L)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L)
1	7,22	895	475,80	5,31	44,99	76,01	43,99	40,56	10,58	67,82
2	7,41	724	439,20	4,53	22,99	32,95	21,51	44,56	7,25	40,83
3	7,40	825	427,00	14,51	47,99	38,23	17,61	77,85	6,13	58,59
4	7,06	1.358	475,80	27,85	126,96	150,53	33,08	35,06	7,63	197,93
5	7,33	976	451,40	22,02	73,98	31,34	14,04	52,27	8,45	34,08
6	7,35	948	536,80	2,98	48,98	32,85	22,79	92,75	8,33	20,78
7	7,20	883	536,80	7,12	44,99	36,05	6,19	108,53	7,76	10,95
8	7,18	706	402,60	2,98	34,99	17,94	15,49	69,88	7,38	15,64
9	7,17	729	463,60	6,35	37,99	12,19	12,33	77,44	8,49	13,34
10	7,19	855	524,60	9,07	35,99	18,62	19,45	82,60	7,06	14,79
11	7,64	726	549,00	4,86	20,99	37,04	26,45	34,45	10,76	25,89
12	7,89	796	500,20	6,00	32,99	45,98	37,16	30,93	4,74	69,19
13	7,80	766	561,20	10,00	27,99	38,33	32,52	34,81	7,15	18,57
14	7,70	943	646,60	8,00	39,99	43,87	51,37	30,12	7,91	70,11
15	7,72	881	585,60	8,66	56,98	46,81	33,28	46,88	7,28	49,63
Promedio	7,42	867,40	505,08	9,35	46,59	43,92	25,82	57,25	7,79	47,21

En el caso particular de los cloruros, se detectaron tenores que oscilaron entre 20,99 y 126,96 mg/L. Comparando con los antecedentes regionales para el partido de Tandil que indican concentraciones de 30 mg/L, se determinó que trece tambos superan ese nivel, de los cuales cinco poseen valores entre 33 y 40 mg/L y los ocho restantes superan 40 mg/L.

Por otra parte, los nitratos presentaron concentraciones entre 10,95 y 197,93 mg/L. El coeficiente de variación calculado (96,27%) indica que la media no es representativa del conjunto de datos debido a la gran amplitud entre los valores máximos y mínimos. Teniendo en cuenta los valores regionales que oscilan en 30 mg/L, se observa que en nueve sitios se supera ese nivel. Además, en siete tambos los tenores de nitratos exceden el máximo recomendado de 45 mg/L para consumo humano.



## **CAPÍTULO 5**

### **ENFOQUE SISTÉMICO Y PAUTAS DE GESTIÓN SUSTENTABLE**

En este Capítulo se desarrolla el análisis sistémico de la problemática abordada, para lo cual se interrelacionan las variables naturales, sociales, económicas y político-institucionales caracterizadas a lo largo de la investigación. De dicho análisis surgen las propuestas para el manejo sustentable del agua subterránea en el partido de Tandil. Éstas incluyen la aplicación de indicadores de sustentabilidad, las actividades de educación ambiental y un conjunto de pautas de gestión ambiental.

#### **5.1 ANÁLISIS DAFO SOBRE LA GESTIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA**

El análisis DAFO, explicado en el apartado 2.5.2, permitió identificar las fortalezas y debilidades internas del área de estudio referidas al manejo del agua subterránea y las oportunidades y amenazas provenientes del ámbito externo. Los resultados se presentan en la Tabla 35.

Este análisis facilitó la interrelación de puntos fuertes y débiles de la gestión y la determinación de oportunidades externas que pueden ser aprovechables por las fortalezas internas y maximizarse al superar las debilidades internas, así como también reconocer la presencia de amenazas que pueden contrarrestarse gracias a las fortalezas internas y a la superación de las debilidades.

En ese sentido, se destaca como una de las principales oportunidades, la existencia de legislación que rige sobre distintos aspectos hidrológicos, pero cuyo aprovechamiento requiere trabajar en la regulación y control de dichas reglamentaciones. A modo de ejemplo, en el caso de la construcción de las perforaciones para distintos usos, se requiere la actuación de actores clave como los encargados de la ejecución de las obras que deben exigir los permisos de perforación previamente a su construcción.

Otra oportunidad externa es la creación de la Ley Provincial de Paisaje protegido N° 14.126/2010, la cual puede favorecer la planificación en el área protegida, contribuyendo al ordenamiento de los usos del suelo y a la preservación del recurso hídrico subterráneo, considerando especialmente que dicha área abarca toda la ciudad de Tandil y coincide con la cabecera de cuenca del arroyo Langueyú y en menor medida de los arroyos Tandileofú y Chapaleofú.

La principal debilidad del área de estudio con respecto a la gestión del agua es la ausencia de una adecuada planificación territorial que regule los usos del suelo y establezca zonas frágiles que requieren una protección especial, como lo son las cabeceras de cuencas. Además, el ordenamiento territorial debe orientar las obras e infraestructuras públicas hacia el abastecimiento de servicios sanitarios básicos en forma previa a la construcción y desarrollo urbano en sectores no planificados. Para superar esta debilidad se requiere enfrentar la dificultad de trabajar con una multiplicidad de organismos gubernamentales que

abordan distintas cuestiones vinculadas a la temática hidrológica y lograr la participación y actuación conjunta de actores a nivel local, provincial y nacional.

Tabla 35. Análisis DAFO de la gestión del agua subterránea en Tandil.

	FORTALEZAS	DEBILIDADES
ANÁLISIS INTERNO	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Disponibilidad de agua subterránea cuyas calidad natural es apropiada para distintos usos antrópicos.</li> <li>• Crecimiento de la cobertura de servicios de agua corriente y cloacas en la ciudad de Tandil.</li> <li>• Movilizaciones sociales por el acceso al agua potable.</li> <li>• Investigaciones en la UNICEN sobre el recurso subterráneo, sus características y usos.</li> <li>• Reposicionamiento de los asentamientos de rango menor del partido de Tandil.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Crecimiento poblacional que genera mayor consumo de agua y generación de efluentes.</li> <li>• Falta de planificación territorial a nivel local.</li> <li>• Desarrollo urbano en zonas de cabecera de cuencas.</li> <li>• Transformaciones territoriales que demandan el abastecimiento de servicios sanitarios.</li> <li>• Ausencia o cobertura parcial de agua de red en sectores periurbanos y localidades rurales.</li> <li>• Abastecimiento de agua de red en sectores urbanizados que no cumple con parámetros recomendados para consumo humano.</li> <li>• Numerosas perforaciones particulares para uso domiciliario y/o agropecuario sin control en su diseño y construcción.</li> <li>• Falta de medición de consumos de agua subterránea en distintos usos.</li> <li>• Ausencia de sistema cloacal en sectores periurbanos y rurales.</li> <li>• Alta demanda de agua para usos agropecuarios.</li> <li>• Vertido de efluentes de distinto origen (doméstico, agropecuario e industrial) sin depurar sobre el terreno y en cursos de agua.</li> <li>• Escaso espesor de la zona no saturada y elevada vulnerabilidad del acuífero freático ante las cargas contaminantes.</li> <li>• Escasa participación de actores en la gestión del agua.</li> </ul>
	OPORTUNIDADES	AMENAZAS
ANÁLISIS EXTERNO	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Existencia de legislación y regulaciones sobre el uso del agua, su calidad y preservación.</li> <li>• Sanción de la Ley provincial N° 14.126 para la preservación del paisaje protegido “la poligonal”.</li> <li>• Potencial turístico que favorece la preservación de los recursos naturales.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Presiones inmobiliarias y apertura de nuevos loteos en zonas sin ordenamiento de usos del suelo y sin servicios sanitarios.</li> <li>• Desarrollo turístico que favorece la urbanización en sectores serranos coincidentes con cabeceras de cuencas.</li> <li>• Ausencia de aplicación y control de las regulaciones vigentes sobre construcción de perforaciones y caudales extraídos, y sobre el vertido y tratamiento de efluentes.</li> <li>• Uso intensivo de las tierras agrícolas que favorece la aplicación de agroquímicos, fertilizantes y riego complementario.</li> <li>• Multiplicidad de actores de nivel normativo y de control y yuxtaposición de competencias que dificulta la aplicación de regulaciones.</li> </ul>

El desarrollo de la actividad turística se presenta, por un lado, como una amenaza externa que fomenta los emprendimientos hoteleros y gastronómicos en zonas serranas y de cabecera de cuenca, pero además, constituye una oportunidad porque pone en valor los recursos naturales, especialmente el paisaje, y es un motor para el desarrollo de los asentamientos de rango menor. Por lo tanto, esta actividad requiere de especial atención y la regulación de su crecimiento en pos de preservar el sistema.

Las movilizaciones sociales en relación a los recursos hídricos representan una fortaleza que contrarresta la escasa participación de los actores locales en relación al agua, y contribuye a la generación de conciencia ciudadana sobre su importancia y sobre la necesidad de abastecer de servicios sanitarios, en particular agua potable, a todos los sectores sociales.

Otra fortaleza del área de estudio es la existencia de grupos de investigación de la Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires enfocados al diagnóstico del sistema hidrológico y sus potenciales cargas contaminantes, así como al ordenamiento territorial. Esta fortaleza debiera ser aprovechada por los organismos gubernamentales para desarrollar una adecuada planificación territorial y encaminarse hacia la gestión integrada de los recursos hídricos.

Por otra parte, es necesario superar un conjunto de debilidades relacionadas al elevado consumo de agua subterránea en las actividades agropecuarias, como los casos analizados en esta Tesis sobre tambos y cultivo de papa bajo riego, y al vertido de efluentes sin depurar en suelo. Se requieren medidas de uso eficiente del recurso y, considerando la elevada vulnerabilidad del acuífero freático, se pone de manifiesto la necesidad de alternativas para el tratamiento de los efluentes domiciliarios y de tambos, así como controles y regulaciones en el uso de agroquímicos en la agricultura.

## **5.2 INDICADORES DE SUSTENTABILIDAD DE LOS RECURSOS HÍDRICOS**

Como se indicó en el apartado 1.8 Marco Teórico, el concepto de sustentabilidad se refiere al proceso de cambio temporal que atraviesa el sistema ambiental, por lo cual se vuelve relevante el establecimiento de indicadores de sustentabilidad que permitan la caracterización, evaluación y seguimiento de una problemática ambiental. Si bien existen diversos tipos de indicadores, en esta Tesis se analizan dos de ellos.

### **5.2.1 Indicadores PER**

Se proponen indicadores sencillos según el modelo Presión-Estado-Respuesta (PER) con el propósito de evaluar y monitorear, con la información disponible, la intensidad de la intervención humana sobre el recurso hídrico subterráneo en el área de estudio, las características y calidad ambiental resultantes de sus modos de uso, y las respuestas de distintos actores socioeconómicos sobre esa calidad ambiental. De ese modo, en la Tabla 36 se presentan los indicadores PER basados en la información recabada en la presente Tesis.

Tabla 36. Indicadores PER para la gestión de aguas subterráneas.

Tipo	Indicador	Descripción	Variable	Frecuencia
INDICADORES DE PRESIÓN	Usos de suelo	Los usos del suelo y sus variaciones indican las tendencias de desarrollo territorial. Es importante conocer el avance de la urbanización en relación al abastecimiento de servicios sanitarios y la protección de cabeceras de cuenca.	Tipo de uso y superficie (hectáreas)	Cada 10 años
	Cobertura de servicios sanitarios	El porcentaje y la distribución de la población sin cobertura de servicios de agua potable y cloacas indican las zonas que utilizan perforaciones particulares y aquellas que vierten los efluentes domiciliarios <i>in situ</i> .	% población sin agua de red y sin cloacas	Anual
	Cargas contaminantes	La identificación y caracterización de las cargas contaminantes hacia el acuífero representa las actividades con impacto real y potencial sobre el recurso subterráneo y las zonas más afectadas.	Tipo y extensión de la carga contaminante	Anual
	Características de las perforaciones	El diseño, construcción y estado de las perforaciones son relevantes para conocer la posibilidad de contaminación desde la superficie así como en profundidad.	Estado de la perforación	Anual
	Caudales extraídos	El caudal extraído en las perforaciones indica la presión o stress al que está sometido el recurso subterráneo y se relaciona con la posición de los niveles freáticos.	Caudal (m <sup>3</sup> /día)	Mensual
	Distancia entre perforaciones y focos contaminantes	El escaso distanciamiento entre las perforaciones de extracción de agua y los focos contaminantes facilita el transporte de las cargas contaminantes a través del flujo subterráneo afectando la calidad del recurso.	Metros	Anual
	Huella hídrica	La huella hídrica representa la cantidad de agua utilizada en todas las etapas productivas de un bien. Constituye un indicador del uso intensivo del recurso hídrico.	m <sup>3</sup> /t	Bianual
INDICADORES DE ESTADO	Profundidad del nivel freático	La profundidad del nivel freático y sus variaciones tiene relación con la presión ejercida por las perforaciones de extracción de agua. Además, puede facilitar el contacto de los efluentes con el nivel freático.	Metros	Trimestral
	Conductividad eléctrica del agua	La conductividad eléctrica expresa indirectamente la salinidad del agua y da una idea general de su calidad fisicoquímica y su posible contaminación.	μS/cm	Trimestral
	Concentración del ión nitrato en agua	La presencia del ión nitrato en agua subterránea es indicador de contaminación antrópica. Si se supera el valor máximo recomendable por la legislación argentina el agua no es apta para consumo humano.	mg NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /L	Trimestral
	Aptitud microbiológica para consumo humano	La presencia de microorganismos patógenos en agua subterránea determina su aptitud o ineptitud para consumo humano, en función de lo establecido en el Código Alimentario Argentino (CAA).	Parámetros regidos por el CAA	Trimestral

Tipo	Indicador	Descripción	Variable	Frecuencia
INDICADORES DE RESPUESTA	Creación y aplicación de legislación	La generación de nuevas normas a nivel local, provincial o nacional y la aplicación de las existentes sobre la gestión del recurso subterráneo indican una forma de respuesta gubernamental ante las problemáticas hídricas.	Nº y tipo de normas/ año	Anual
	Proyectos y obras de saneamiento	La planificación y ejecución de obras y medidas frente a las problemáticas hídricas indican el compromiso de actores gubernamentales e instituciones ante la ausencia de servicios sanitarios y el crecimiento poblacional.	Nº y tipo de proyectos y obras/ año	Anual
	Educación ambiental	Las campañas de educación ambiental y sus alcances expresan el compromiso de distintos actores para concientizar sobre el uso y preservación del agua.	Nº y tipo de actividades/ año	Anual
	Acciones de los habitantes	La aplicación de medidas preventivas y correctivas por parte de los pobladores tendientes a la mejora de las condiciones de explotación y uso del agua es un indicador de la concientización social por el cuidado del recurso.	Nº y tipo de acciones/ año	Anual
	Movilizaciones sociales	Las manifestaciones sociales y reclamos vecinales por el acceso al agua potable también dan cuenta de concientización social por el cuidado del recurso y la demanda de cobertura de servicios sanitarios básicos.	Nº y tipo de acciones/ año	Anual
	Difusión y publicaciones	La publicación y difusión en medios locales, gráficos y audiovisuales, de temas relacionados al agua subterránea en el área de estudio, dan cuenta de la relevancia social de la problemática hídrica.	Nº y tipo de publicaciones/año	Anual

### 5.2.2 Índice GSII

El índice GSII, propuesto por Pandey *et al.* (2011) y detallado en el apartado 2.5.3, fue aplicado al partido de Tandil y se refiere a la existencia de conocimientos, prácticas e instituciones tendientes a lograr la sustentabilidad en el uso del agua subterránea.

Según los autores, el índice se conforma con cinco componentes que se desagregan en indicadores. Uno de los componentes es el monitoreo de las aguas subterráneas, el cual permite un entendimiento a largo plazo de la disponibilidad del recurso y efectos antrópicos sobre el mismo. Por su parte, el componente referido a la generación y divulgación del conocimiento ayuda a facilitar la evaluación, planificación y gestión de aguas subterráneas, asimismo contribuye a construir la confianza entre los actores para alcanzar la meta de la sustentabilidad. El tercero se refiere a las intervenciones regulatorias y apunta a asegurar la sustentabilidad a través de mecanismos como licencias, impuestos, subsidios, mercados de derecho de agua u otros instrumentos. El cuarto componente se aboca a la participación pública, considerando que la misma posibilita la toma de decisiones informada y ayuda a prevenir los conflictos y maximizar los distintos beneficios. El último componente considera la responsabilidad institucional, referida a la existencia del poder con mandatos claros, recursos suficientes y marco legal que incremente la fuerza y liderazgo institucional en el manejo del agua.

Cabe señalar algunas especificaciones acerca de las intervenciones regulatorias que no han sido abordadas hasta el momento en esta Tesis. Por un lado, una modalidad de intervención son los sistemas de derechos de agua que se aplican mediante el otorgamiento de derechos de uso de ciertas cantidades de recurso, que incluso pueden formar parte de un mercado. En Tandil no se aplica este tipo de intervención debido a que el agua es considerada un bien público asociado a la posesión de la tierra. Otra forma es la regulación mediante licencias o permisos, que en la provincia de Buenos Aires está regulado por el Código de Aguas pero su aplicación aún no es efectiva en todos los casos de construcción de perforaciones. Una tercera modalidad son los instrumentos económicos, tales como tarifas, impuestos o subsidios orientados a regular el uso del recurso y su preservación. En el apartado 5.4.6 se retoman y detallan estas modalidades como propuestas de gestión sustentable.

En la Tabla 37 se presentan los 16 indicadores del índice, los valores adjudicados a cada uno y su justificación. Como se indicó en el apartado 2.5.3 de Metodología, todos los componentes tienen pesos iguales (0,20) y fueron valorados en una escala entre 0 y 1.

Tabla 37. Aplicación del índice GSII para el partido de Tandil.

Componente	Indicador	Valor	Justificación del valor de cada indicador
Monitoreo de las aguas subterráneas	1. Nivel de agua subterránea	0,30	Existen mediciones de niveles freáticos en perforaciones de OST cuya información no es accesible. No se realizan mediciones a escala de partido de Tandil ni tampoco en forma continua. El CINEA realiza mediciones en sectores de interés dentro del partido.
	2. Extracción de agua subterránea	0,10	No existe control de los caudales extraídos en las perforaciones particulares, tanto de uso domiciliario como agropecuario. Sólo un sector de la ciudad de Tandil posee medidores para el consumo de agua potable. Además, no se llevan registros de la construcción de perforaciones particulares ni sus caudales extraídos.
	3. Calidad del agua subterránea	0,30	Desde el CINEA se ha investigado sobre la calidad del recurso subterráneo. Además, existen antecedentes puntuales generados en la Dirección de Bromatología municipal. Sin embargo, no existen estudios coordinados por entes gubernamentales sobre la calidad del agua en el área de estudio.
	Valor medio del componente	0,23	
Generación y divulgación del conocimiento	1. Generación de conocimiento	0,50	Investigaciones desarrolladas por el CINEA sobre el recurso subterráneo. Desde el ámbito gubernamental, existen estudios puntuales para el abastecimiento de agua en ciertas zonas o la realización de nuevas perforaciones.
	2. Compilación, almacenamiento y manejo de datos y conocimiento	0,10	Información no sistematizada sobre el recurso y de difícil acceso para los distintos actores sociales.
	3. Provisión para la integración y divulgación del conocimiento	0,50	Iniciativas del CINEA desde 2008 incluyendo actividades de extensión y divulgación para comunicar los conocimientos sobre recursos hídricos en lenguaje sencillo y a todos los actores. Existen programas municipales de educación ambiental en el ámbito formal desde 2005 pero no todos los años se basan en la temática hídrica.
	Valor medio del componente	0,36	

Intervenciones regulatorias	1. Derechos del agua subterránea	0	No existen regulaciones y prácticas sobre derechos de agua subterránea, sino que el agua es considerada por la normativa como un bien público y se encuentra asociada a la posesión de la tierra. Por ende cada habitante tiene derecho a utilizarla, pero para ello depende de que esté disponible en su tierra.
	2. Licencias de agua subterránea	0,30	La Ley Provincial N° 12.257 indica que deben solicitarse permisos (licencias) para perforar y utilizar el agua subterránea. Sin embargo, en la práctica se aplica y controla solamente sobre las perforaciones de abastecimiento público y de ciertas industrias, no así en las de uso domiciliario y en las dedicadas al riego.
	3. Instrumentos económicos	0,20	En general no se aplican instrumentos económicos a la utilización del recurso hídrico. Sólo existe un sistema de tarifas fijas por el uso del agua de red en el ámbito urbano (uso doméstico e industrial).
	Valor medio del componente	0,16	
Participación pública	1. Conciencia	0,30	Preocupación en sectores periurbanos sobre la disponibilidad y la calidad del agua subterránea. Movilizaciones sociales al respecto.
	2. Interés en participar	0,20	Demostraciones puntuales de interés por participar en las decisiones, principalmente en respuesta a hechos puntuales, tales como problemas de calidad del agua en sectores sin servicios sanitarios.
	3. Disponibilidad de mecanismos	0,20	No se han instaurado mecanismos formales para la participación. La única experiencia reciente consistió en los talleres participativos organizados por el OPDS en relación a la creación del área protegida en el área “la poligonal”.
	Valor medio del componente	0,23	
Responsabilidad institucional	1. Disponibilidad de la autoridad	0,20	No se detecta un liderazgo institucional en la gestión del agua subterránea. Varias áreas gubernamentales tienen competencia en el tema (Apartado 4.1 Actores involucrados). Sin embargo, en Tandil no existe un programa tendiente a su manejo integrado.
	2. Marco legal	0,70	Existen normativas provinciales y nacionales que regulan los recursos hídricos (Apartado 1.9 Marco legal). Sin embargo, se evidencian falencias en su aplicación y control
	3. Capacidad institucional	0,20	No existe una autoridad específica para gestionar el agua subterránea. Escasos recursos económicos y humanos destinados a su gestión. No se detectan esfuerzos en el fortalecimiento de dichos recursos, así como en investigaciones sobre la temática hidrológica.
	Valor medio del componente	0,36	

El cálculo del Índice GSII que se detalla a continuación, considerando la escala planteada por Pandey *et al.* (2011), indica que la infraestructura para la sostenibilidad del agua subterránea en Tandil es pobre.

$$GSII = (0,2 \cdot 0,23 + 0,2 \cdot 0,36 + 0,2 \cdot 0,16 + 0,2 \cdot 0,23 + 0,2 \cdot 0,36) / 1 = 0,268$$

Cabe señalar que la información necesaria para la evaluación de los indicadores descriptos incluye variables cualitativas además de las tradicionales mediciones cuantitativas, hecho relevante considerando las dimensiones social, económica y político-institucional que confluyen en el manejo del agua.

Este conjunto de indicadores propuestos constituyen herramientas sencillas y útiles para los tomadores de decisiones con el propósito de monitorear el manejo del agua subterránea y, a partir de ello, plantear pautas de sustentabilidad de los recursos hídricos que orienten hacia su gestión integrada.

### 5.3 EDUCACIÓN AMBIENTAL Y CAPACITACIÓN

En este apartado se presentan las actividades de educación ambiental y capacitación desarrolladas en ámbitos formales y no formales de los sectores de estudio.<sup>10</sup>

En el ámbito de la educación no formal, se elaboraron informes con los resultados de los análisis microbiológicos y el contenido de nitratos para cada domicilio, los que fueron entregados en todos los sectores de estudio, acompañados de una explicación sobre la calidad del agua en su perforación y las posibles causas de su deterioro (Figuras 76 y 77). En los casos en que se encontraron bacterias patógenas, se ofreció a los pobladores un documento detallado de la metodología para realizar la desinfección de tanques, pozos y cañerías.

Como se anticipó en el apartado 4.5, en los distintos sectores de estudio hubo domicilios donde los propietarios llevaron adelante las recomendaciones de desinfección, así como otros que decidieron cambiar la fuente de agua para consumo a partir de los resultados de calidad de sus pozos particulares.



Figura 76. Entrega de informe en complejo de cabañas.



Figura 77. Entrega de informe en domicilio particular.

Por otra parte, en espacios educativos formales se desarrollaron encuentros con alumnos de los establecimientos de las localidades rurales bajo estudio. En María Ignacia se desarrollaron actividades en las Escuelas Primaria N° 13 (Figura 78) y Secundaria Básica y de Adultos N° 5 (Figura 79) durante octubre y noviembre de 2012. En Gardey se realizaron, en junio de 2013, encuentros con alumnos de la Escuela Secundaria Técnica N° 4 (Figura 80) y de la Escuela Primaria N° 19 (Figura 81). Cabe señalar

---

<sup>10</sup> Se contó con la colaboración especial de la Magíster Adriana Alejandra Díaz y el Magíster Roberto Esteban Miguel, ambos integrantes del CINEA.

que en el barrio Cerro Los Leones se realizaron este tipo de tareas en 2008 las cuales fueron detalladas en la Tesis de Maestría de la autora (Rodríguez, 2010).

Se trabajó sobre la temática hidrogeológica, haciendo énfasis en comprender qué es el agua subterránea, dónde se encuentra, cómo se mueve y cómo puede ser afectada su calidad mediante las actividades antrópicas. Asimismo, se abordó la situación del recurso hídrico subterráneo en cada localidad y se trabajó sobre las tareas que pueden llevar adelante los habitantes ante la problemática detectada. Además, se hizo hincapié en la importancia de la higiene personal y de los alimentos, así como evitar el derroche de agua y proteger las perforaciones de la contaminación. También se realizaron experimentos didácticos con los alumnos, basados en la interpretación de la disposición del agua en el subsuelo, así como la determinación de la conductividad eléctrica.

A partir de estas actividades, los docentes se interesaron en la temática y solicitaron material para trabajar con los alumnos en el aula. Por tal motivo, se entregaron recursos educativos propios y de otros autores a los docentes participantes.



Figura 78. Actividad en la Escuela Primaria N° 13. María Ignacia.



Figura 79. Charla en la Escuela Secundaria N° 5. María Ignacia.



Figura 80. Encuentro en la Escuela Técnica N° 4. Gardey.



Figura 81. Tareas en la Escuela Primaria N° 19. Gardey.

## **5.4 PAUTAS PARA LA GESTIÓN SUSTENTABLE DEL AGUA**

En este ítem se proponen un conjunto de acciones necesarias para la gestión sustentable del agua en el partido de Tandil, las cuales hacen énfasis en sus aspectos sociales, económicos, institucionales y técnicos, y se enmarcan en la legislación vigente de alcance nacional y provincial.

### **5.4.1 Capacidad de gobernanza del agua subterránea**

Retomando lo abordado en el Marco Teórico, la gobernanza del agua implica la democratización del poder sobre el recurso. Para alcanzar esa meta en Tandil y la región, se requiere crear capacidades institucionales a nivel de cuenca y contar con la participación de todos los actores, para regular las intervenciones sobre los recursos hídricos y minimizar los conflictos e impactos ambientales.

En ese marco, y considerando que en el partido de Tandil y en la región no existen organizaciones de cuenca, se propone la creación de un organismo de cuenca que permita una efectiva gobernabilidad del agua.

Como el área de estudio es cabecera de ocho cuencas que tienen continuidad aguas abajo hacia otros distritos limítrofes, se considera apropiada la creación de un comité que pueda coordinar la gestión del recurso. Una posible modalidad de funcionamiento es que el comité incluya comisiones de trabajo para cada cuenca o grupo de cuencas, como por ejemplo: una comisión que se aboque a las cuencas de los arroyos Chapaleofú y de los Huesos, en las que se vincule Tandil con los partidos de Rauch, Azul y Benito Juárez; otra comisión que trabaje sobre las cuencas de los arroyos Languyú, Tandileofú y las Chilcas, donde se relacione Tandil con Ayacucho; y otra dedicada a las cuencas de los arroyos Napaloequí y Quequén Chico, en la que articule Tandil con los distritos de Balcarce, Lobería y Necochea.

Esta opción de distribución en comisiones obedece a la ubicación de cada cuenca y su vinculación principal con un partido limítrofe, y se considera la más apropiada teniendo en cuenta que no sería operativo ni factible la existencia de siete comités de cuenca.

De acuerdo con las pautas generadas por la Organización Mundial del Agua (GWP, 2009), los organismos de cuenca deben ocuparse de tres funciones principales. Una de ellas se basa en el monitoreo e investigación sobre los recursos hídricos y la comunicación de esa información relevada. Otra de sus funciones se refiere a la planificación de los usos del agua, la definición de criterios para su correcta distribución, y garantizar la financiación de las políticas hídricas. Como tercer elemento, las organizaciones de cuenca deben construir y mantener la infraestructura hídrica, garantizar el acceso al agua para los distintos usuarios, y proteger los ecosistemas relacionados al recurso.

De concretarse esta propuesta, el funcionamiento del comité de cuenca favorecerá la descentralización y desconcentración de la gestión del recurso y permitirá delegar funciones de control y fiscalización de aspectos locales.

El funcionamiento del organismo de cuenca en Tandil y partidos limítrofes constituirá una ardua tarea, que demandará el convencimiento por parte de todos los actores sobre su necesidad de funcionamiento y la necesidad de poseer un poder real de decisión. Además, se deberá elaborar una reglamentación que rijan su accionar y defina su rol y sus atribuciones. Asimismo, estas organizaciones requerirán financiamiento continuo para su ejecución, tanto para la instalación y operación de un sistema de monitoreo hidrológico y el manejo de toda la información generada, así como recursos humanos capacitados para tales fines. Este funcionamiento no debe tener una duración determinada, sino que requiere continuidad en el tiempo, y su fuente de ingresos puede provenir de instrumentos económicos implementados para tal fin, como se detalla a continuación.

Por lo antedicho, se pone de manifiesto la prioridad de convertir a los recursos hídricos en foco de las políticas públicas de Tandil y la región y de trabajar en la vinculación de todos los sectores que confluyen en el manejo del agua, en pos de tender a su gobernanza y su gestión integrada.

#### **5.4.2 Planificación estratégica y acciones a nivel de cuenca**

La gestión integrada de los recursos hídricos en Tandil y la región demanda la puesta en marcha de un proceso de una planificación estratégica, con objetivos a largo plazo y vinculando las acciones locales con las políticas a nivel regional y nacional. Además, dicha planificación deberá ser flexible para adaptarse a los cambios que puedan surgir en relación al manejo del recurso y a la información disponible. Se acuerda con la Asociación Mundial del Agua (GWP, 2009) que una estrategia regional de este tipo debería abarcar períodos de 10 a 20 años e incluir planes de acción detallados a nivel de cuenca de menor duración, que podrían variar entre 3 y 6 años.

La planificación estratégica de los recursos hídricos debe necesariamente estar vinculada al ordenamiento territorial y ambiental. Como se comentó en el diagnóstico realizado en esta investigación, en Tandil la ocupación y transformación del territorio no están orientadas hacia un desarrollo sostenible, debido a que no se compatibilizan los intereses socioeconómicos con las condiciones naturales y su capacidad de soporte, así como con el marco legal e institucional existente. Por ello, para tender hacia la gestión sustentable del agua en el área de estudio, se requiere la elaboración e implementación de un plan de ordenamiento territorial que proteja especialmente las zonas de recarga de aguas subterráneas y conservar áreas ecológicamente relevantes. Considerando que la ciudad de Tandil se sitúa en la cabecera de la cuenca del arroyo Langueyú, es prioritario establecer zonas de protección que se basen en las características de los ecosistemas y la preservación de los recursos naturales, y no en límites arbitrarios de índole administrativa o política como es el caso del área protegida “la poligonal” antes mencionada.

En ese marco, los planes de acción a corto y mediano plazo deberán incluir las metas, objetivos y acciones, combinando medidas estructurales y otras no estructurales, y detallando los recursos necesarios, la modalidad de ejecución de las acciones, y cómo se llevará a cabo la divulgación de los resultados a

toda la comunidad. Además, es necesario incorporar mecanismos para la resolución de conflictos y las sanciones a aplicar en casos necesarios.

Para evitar el manejo inadecuado de recursos y el estancamiento de la planificación, se vuelve necesario un sistema de evaluación, con presentación de informes y rendiciones de cuentas, así como una actualización a medida que surja nueva información.

Esta Tesis brinda información útil para contribuir en el proceso de planificación estratégica, considerando que la misma requiere conocer la situación real de los recursos hídricos en el área de estudio, detectar y caracterizar los problemas relacionados a la gestión del agua y conocer las actividades económico-productivas con mayor impacto sobre la misma.

En el área de estudio, se destaca como meta principal la necesidad de conformar un organismo de cuencas que impulse el ordenamiento territorial y la zonificación de usos del suelo tendientes a la preservación del recurso hídrico. Además, se requerirán una serie de acciones tendientes a la participación, comunicación y capacitación de los usuarios, que se detallan a continuación.

#### **5.4.3 Participación en la planificación y la toma de decisiones**

Como se anticipó en las anteriores propuestas, es fundamental contar con la participación de la “comunidad de pares extendida” mencionada en el Marco teórico, constituida por los distintos actores intervinientes en la gestión del agua en el partido de Tandil dentro de los procesos de planificación estratégica y la toma de decisiones.

Se propone la integración de representantes de los distintos sectores sociales, económicos e institucionales del área de estudio y la vinculación con los distritos limítrofes con los que se comparten las cuencas, como se detalló en el apartado 5.4.1.

Como primera instancia, se destaca la implementación del Banco Único de Datos de Usuarios de los Recursos Hídricos (BUDURH) detallado en el apartado 1.9 Marco legal, debido a que permitirá conocer la diversidad de usuarios del recurso y favorecerá la participación de los mismos en la gestión de los recursos hídricos.

El logro de la participación efectiva de la sociedad y del Estado permitirá tomar decisiones con una visión compartida y favorecerá la equidad en los resultados de las acciones llevadas a cabo. Para ello es fundamental la disponibilidad y comunicación de la información hidrológica, para que los participantes puedan decidir basados en conocimientos reales y fiables, como se aborda en la siguiente propuesta.

El proceso de participación posee aspectos clave para su ejecución, entre los que se destacan la importancia de que la mayoría de las partes estén representadas y la transparencia de dicho proceso. Asimismo, es posible establecer distintos mecanismos de participación, más allá de los tradicionalmente conocidos que se basan principalmente en la difusión de información.

Como propuesta para el área de estudio, una de las modalidades de participación es la conformación de un grupo consultivo, que constituye un grupo independiente cuya función es asesorar al organismo de cuenca sobre distintos aspectos y problemas vinculados al agua, así como sus opciones de solución o mejora. Se conforman con representantes de las partes involucradas, tanto de los ámbitos privados como públicos, de sectores específicos como de la comunidad en general, entre los que pueden incluirse empresarios agropecuarios, instituciones públicas vinculadas al agua, empresas y organismos de provisión de servicios sanitarios, autoridades estatales, consejos profesionales y docentes de universidades con injerencia en la temática, organizaciones no gubernamentales, comisiones vecinales, entre otros.

#### **5.4.4 Sistemas de información y monitoreo del agua subterránea**

Otra de las estrategias necesarias para el éxito de la gestión integrada del agua es contar con información sobre el estado de los recursos hídricos en el área de estudio, conocer sus modos de uso y su relación con otros recursos naturales. Dicha información debe ser confiable y accesible para todos los actores.

Para ello, en primer lugar se debe identificar cuál es la información necesaria y es fundamental orientar el monitoreo hacia los objetivos de la planificación estratégica elaborada para el área de estudio. En ese sentido, se propone incluir en la planificación un plan de monitoreo del agua a nivel de cuencas, que vincule y coordine la información proveniente de distintos sectores (usuarios, autoridades locales y regionales, organismo de cuenca, centros de investigación, entre otros), y que emplee herramientas para el fácil y adecuado manejo y consulta de los datos, así como para su difusión.

A la hora de difundir la información hidrológica, se propone realizar la comunicación a través de un conjunto de indicadores de los recursos hídricos como los detallados en el apartado 5.2, que resultarán útiles para evaluar el uso y manejo del agua así como para tomar decisiones ante los posibles cambios. Asimismo, los mecanismos de comunicación constituirán una modalidad de participación, debido a que informarán a la comunidad sobre el proceso de gestión y fomentarán el intercambio de datos con los distintos usuarios. De ese modo, se generará una co-responsabilidad entre decisores y usuarios sobre la generación y utilización de la información hidrológica necesaria para la sustentabilidad del agua.

Esta estrategia requiere de recursos humanos e infraestructura para la recolección, procesamiento y comunicación de la información, lo que se traduce en necesidad de financiamiento, cuestiones previamente tratadas en relación a importancia de crear y fortalecer las capacidades de gobernanza del agua. Por ello, es fundamental que se monitoree la información adecuada, necesaria y asequible.

#### **5.4.5 Educación ambiental y comunicación**

En relación a las pautas antes descritas, se destaca la necesidad de actividades de capacitación y educación a los distintos usuarios del agua sobre su adecuado manejo y preservación. Los programas de educación ambiental y los sistemas de información constituyen mecanismos cruciales para fomentar la participación pública y promover la concientización de la población, y al mismo tiempo impulsan el apoyo de la comunidad al proceso de gestión del agua. Se considera apropiado que ambas actividades, educativas y de comunicación, sean coordinados por el organismo de cuenca.

Para el logro de esta meta en el área de estudio, se proponen distintas modalidades. Una de ellas se basa en la elaboración e implementación de programas de educación ambiental referidos a los recursos hídricos y su realidad local. En ese sentido, se destaca la importancia de la continuidad de las tareas de extensión realizadas desde el CINEA que han tenido impacto a nivel local y la consideración de la temática hidrológica dentro de los programas de educación ambiental del Municipio de Tandil. Otra modalidad que puede realizarse en simultáneo son las campañas de generación de conciencia pública, que pueden ser encaradas por los organismos de cuenca a través de los medios de comunicación y también mediante folletos o boletines informativos. Estas campañas pueden abordar la temática hidrológica desde distintas ópticas, tales como: medidas para evitar el derroche de agua en domicilios, consejos para la desinfección del agua en viviendas con perforaciones particulares, difusión de las normativas vigentes sobre la construcción de perforaciones, entre otros aspectos. Además, puede considerarse la realización de consultas públicas, convocadas por el organismo de cuenca ante un problema vinculado a los recursos hídricos.

#### **5.4.6 Instrumentos de manejo**

Existen un grupo de instrumentos de manejo cuya implementación en forma conjunta con las propuestas antes detalladas, pueden favorecer la gestión integrada de los recursos hídricos.

Dentro de este conjunto se propone la utilización de instrumentos regulatorios basados en controles directos por parte del organismo de cuenca o autoridad competente. Éstos pueden ser aplicados a través de estándares, tales como controles de caudales extraídos, límites para descargas en cursos de agua, exigencias de uso de tecnologías específicas, entre otros. Este tipo de instrumentos se consideran apropiados para el área de estudio, considerando que el diagnóstico realizado en esta Tesis indicó que no existe control de caudales en perforaciones de uso doméstico y agropecuario, así como sobre vertidos de efluentes en viviendas y tambos, ni tampoco regulaciones específicas sobre sistemas de tratamiento de dichos efluentes. Asimismo, este tipo de controles puede implementarse en el área de estudio mediante regulación de los usos del suelo y la protección de áreas críticas, cuestión que se destaca como relevante considerando la urbanización creciente en las cabeceras de las cuencas de los arroyos Languayú y

Tandileofú. Otro ejemplo de controles directos son los permisos de perforación, que se encuentran regulados por la Ley Provincial N° 12.257 pero no se implementan en la práctica en las perforaciones domiciliarias y para uso agrícola. Además, se propone la aplicación de otro mecanismo de control basado en el establecimiento de perímetros de protección en perforaciones de abastecimiento público, situación que no es tenida en cuenta en el área de estudio.

Un grupo de herramientas de manejo posibles de aplicar en el área de estudio son los instrumentos económicos, los que pueden brindar incentivos a los usuarios para el cambio de conductas en el uso del recurso y generar una recaudación para el funcionamiento y operación del organismo de cuenca. Como se indicó en el apartado 1.9 Marco legal, el Decreto 429/2013 establece la instrumentación y aplicación del canon mensual por el uso del agua en el ámbito de la provincia de Buenos Aires, como medio para solventar los gastos originados por la gestión de los recursos hídricos. Dicho Decreto indica la forma de determinación del canon y es interesante destacar que uno de los parámetros considerados es la huella hídrica resultante de la producción de bienes y servicios, y también se deben tener en cuenta las características de la fuente de agua, tales como su disponibilidad, estado o vulnerabilidad. La aplicación de este instrumento resulta sumamente interesante para tender hacia la sustentabilidad en el uso de los recursos hídricos. Sin embargo, se reconoce la necesidad de realizar estudios e investigaciones que brinden la información necesaria para el cálculo del valor del canon, así como la implementación de medidas en los establecimientos productores de bienes y servicios, tales como los tambos o el cultivo de papa abordados en esta Tesis, para posibilitar la cuantificación de la huella hídrica y además para tender a la minimización de los consumos y así abonar un menor valor del canon.

Continuando con la aplicación de instrumentos económicos, y considerando que en la mayor parte de la ciudad de Tandil no existe control sobre los consumos domiciliarios de agua de red, una propuesta es la colocación y mantenimiento de medidores y el establecimiento de precios y tarifas de agua para reducir los volúmenes de consumo. Hasta el momento, dicho instrumento se aplica sólo en un pequeño sector de la ciudad de Tandil y en la localidad de María Ignacia, mientras que el resto de la población abastecida paga una tasa fija por el servicio de agua corriente. Otras propuestas de aplicación de este tipo de instrumentos incluyen: el cobro de impuestos a productos o procesos que dañan el ambiente, por ejemplo en industrias que generan efluentes contaminantes que son vertidos a cursos de agua superficiales, pudiendo así alentar el uso de una producción alternativa y de sistemas de tratamiento; la aplicación de subsidios para fomentar la utilización de una tecnología más eficiente en el uso del recurso, como por ejemplo un sistema de reutilización del agua de enfriamiento de leche en los tambos.

#### **5.4.7 Medidas estructurales y técnicas**

Además de todas las medidas de gestión previamente descriptas, se presenta la necesidad de aplicar distintas medidas estructurales y técnicas a partir de la evaluación del uso del agua en la zona.

Una de las principales propuestas está vinculada al diseño y construcción de las perforaciones de captación, referido a todos los requisitos básicos para su realización, incluyendo criterios técnicos como: la localización, especialmente con respecto a focos contaminantes; la construcción adecuada según el caudal de extracción y la geología, prestando especial atención al diámetro y la profundidad del pozo; la elección de los materiales según condiciones de resistencia y durabilidad, así como las características de los filtros y la necesidad de prefiltro de grava; la protección del pozo de toda fuente de contaminación, a partir de la utilización de cañería de encamisado, la cementación del espacio anular entre la cañería de encamisado y las paredes del pozo, y una correcta terminación superficial.

Asimismo, es necesario que cada vivienda o establecimiento cuente con un adecuado sistema de distribución y almacenamiento del agua. En los sitios relevados en esta investigación se detectaron casos de viviendas que no contaban con cañerías o las mismas eran deficientes, posibilitando la contaminación del recurso, especialmente en forma microbiológica, en las etapas de transporte y almacenamiento.

Para garantizar el consumo de agua proveniente de perforaciones particulares que no presente microorganismos patógenos, es fundamental la desinfección de los pozos, tanques y cañerías así como la utilización de clorinadores para la dosificación de cloro en los sistemas de almacenamiento. La cloración es un método utilizado en el área de estudio, sin embargo para la correcta aplicación de esta medida es necesario el asesoramiento a la comunidad sobre cómo realizar la desinfección, debido a que la cloración doméstica presenta la dificultad del control de la dosificación. La sobredosificación puede conducir a la ocurrencia de problemas estomacales o dérmicos y la generación de un sabor poco agradable.

En cuanto a las concentraciones de nitratos en las aguas subterráneas, la principal propuesta se orienta a evitar o minimizar las fuentes de contaminación. En el área de estudio se detectaron tenores de nitratos superiores al valor máximo recomendado para consumo humano, ante lo cual se puede optar por sustituir las fuentes de obtención de agua por otras con menores contenidos de nitratos, aunque puede resultar costoso al requerir nuevas perforaciones y cañerías. Otra alternativa incluye el mezclado, es decir la reducción controlada de nitratos a una concentración aceptable por la dilución del agua con otra con menores tenores. Esta práctica la realiza Obras Sanitarias Tandil para el abastecimiento en determinados sectores de la ciudad, como se detalló en el Capítulo 4. También existen opciones de tratamiento, como intercambio iónico y ósmosis inversa, las cuales generan un alto costo financiero. Se debe atender especialmente a las viviendas cuyas perforaciones particulares brindan agua no apta para consumo humano tanto química como microbiológicamente, ante lo cual una medida puede ser el suministro de agua segura ya sea embotellada o mediante camiones cisterna, garantizada por el gobierno municipal.

Otro grupo de propuestas técnicas se orienta a la disposición y tratamiento de efluentes domiciliarios, considerando que su adecuado manejo ayuda a reducir la contaminación del agua subterránea. La solución necesaria y más pertinente es la conexión al sistema cloacal, con el posterior tratamiento necesario previo a su vertido. Ante las dificultades en la implementación a corto plazo de esta

medida en sectores periurbanos y rurales de Tandil, se vuelve relevante abordar la correcta construcción de sistemas domiciliarios de vertido de efluentes.

Dichos sistemas deben construirse según criterios de protección del recurso subterráneo. Es fundamental la utilización de cámaras sépticas como primera etapa del tratamiento, para favorecer la digestión de los sólidos, la reducción del contenido orgánico del efluente y la separación de grasas y aceites. Los pozos absorbentes utilizados en la zona de estudio son especialmente aptos para suelos arenos-arcillosos o loess arcillosos y para recibir los efluentes provenientes de una cámara séptica originados en una vivienda familiar. Requieren protección y paramentos de ladrillos, piedras u hormigón armado, para evitar el desmoronamiento del pozo y permitir el pasaje del efluente hacia el terreno. Además, la ubicación del pozo absorbente debe ser decidida en función de un distanciamiento mínimo con respecto a las perforaciones de captación para consumo humano.

Cabe señalar que diversos autores proponen sistemas de tratamientos de efluentes domiciliarios para pequeñas escalas, tales como Hernández Muñoz *et al.* (2004) y Mariñelarena (2006).

Pasando al ámbito agropecuario, se requieren medidas para la disminución de los consumos. En el caso de los tambos, se destaca como principal propuesta evitar el vertido del agua de enfriamiento de la leche, la cual no sufre cambios en su calidad, junto al efluente orgánico. Se propone su recolección y posterior reutilización en otras etapas de la producción, como por ejemplo en bebederos, lavado de la zona ordeñe y pista de animales, entre otras actividades. Asimismo, el volumen consumido en la limpieza del sector de ordeñe y la pista podría ser reducido mediante la utilización de una limpieza mecánica y recolección de los excrementos previo al lavado del tambo, en lugar del uso de una manguera con agua a presión. En lo que se refiere a los cultivos bajo riego, se propone el monitoreo de la humedad en el suelo y el asesoramiento tanto agronómico como meteorológico referido a las necesidades de riego del cultivo y la planificación del mismo teniendo en cuenta las precipitaciones. En el caso de Tandil, se considera fundamental la vinculación de los productores papeiros con grupos de investigación de la UNICEN y del INTA que trabajan sobre estos temas, en pos de optimizar en forma conservacionista el uso del agua en esta actividad.

## CAPÍTULO 6

### CONCLUSIONES Y CONSIDERACIONES FINALES

#### 6.1 CONCLUSIONES

A continuación se presentan las principales conclusiones de la Tesis. Ante todo la investigación ha determinado que el manejo del agua subterránea en el partido de Tandil se realiza sin una visión integrada que contemple los diversos aspectos que componen el sistema ambiental y que afectan a los recursos hídricos. La gestión del agua se encuentra signada por una compleja red de actores, entre los que se destacan los numerosos entes públicos de nivel nacional, provincial y local, que tienen competencias en la temática. Esta situación demanda una actuación coordinada a través de un organismo transversal a los distintos ámbitos normativos y que cuente con la participación de todos los actores.

La evaluación ambiental del uso y gestión del recurso en el ámbito urbano, ha determinado que en la ciudad de Tandil el sistema de abastecimiento provee agua que, en la mayor parte del área de cobertura, excede el valor recomendado de nitratos para consumo humano. Asimismo, en los parajes rurales María Ignacia y Gardey, existe cobertura parcial de agua de red, que en el segundo caso también supera el nivel recomendado de nitrato.

En las zonas no abastecidas con el servicio de agua corriente el recurso proviene de perforaciones y pozos particulares, en las cuales se han detectado importantes deficiencias constructivas y en la protección sanitaria de las captaciones, así como en los sistemas de distribución.

Al mismo tiempo, en los sectores periurbanos y rurales analizados la disposición de efluentes domiciliarios se realiza *in situ* a través de pozos absorbentes. Esta situación favorece la generación de un ciclo local de extracción-transporte-disposición del agua que ocasiona la contaminación química y microbiológica del recurso utilizado para su consumo. Este hecho ha quedado evidenciado a través de la determinación de la presencia de microorganismos patógenos y contenidos de nitratos superiores al máximo recomendado. Estos hechos destacan la importancia del tendido cloacal en las zonas periurbanas y rurales, y la implementación de tratamiento de efluentes previo a su vertido.

Además, los cambios de usos del suelo en la última década dan cuenta del incremento del suelo residencial y turístico-recreativo en detrimento de terrenos sin uso o agrícolas, poniendo de manifiesto la creciente presión sobre el recurso subterráneo, evidenciada por la degradación de la calidad del agua y los descensos del nivel freático.

Por otra parte, se analizó el uso del agua en dos actividades agropecuarias de importancia local. Se determinó que en los establecimientos tamberos no existen sistemas de gestión del recurso, ni controles de caudales utilizados y se generan importantes volúmenes de efluentes cuyo vertido se realiza sin depurar sobre el terrero, especialmente en cavas, pudiendo entrar en contacto con el nivel freático. Se

evidenciaron además alteraciones puntuales en parámetros físico-químicos del agua subterránea, que se asocian al vertido de efluentes. En lo que se refiere a la aplicación del riego en el cultivo de papa, se detectó que no existen controles de las regulaciones existentes sobre las perforaciones para riego y de los caudales extraídos. Asimismo, los productores aplican el riego sin considerar las necesidades reales de agua del cultivo. La huella hídrica, incluyendo el uso del agua verde, azul y gris alcanzó 324 m<sup>3</sup> por tonelada de papa producida.

En los casos analizados de usos del agua domiciliario y en tambos se evidenció la vinculación hidrodinámica entre los sitios de disposición de efluentes y las perforaciones de abastecimiento. Dicha vinculación posibilita la dispersión de los contaminantes de acuerdo al flujo subterráneo natural, pero también se ve afectada por la alteración del flujo natural ocasionada por los pozos de extracción.

La problemática de gestión no integrada del agua se acompaña de un escaso conocimiento en la comunidad sobre el sistema hídrico, en especial sobre el recurso subterráneo. La población no logra interpretar las vinculaciones que dicho recurso tiene con respecto a otros componentes del sistema ambiental, y por ende hace difícil la toma de medidas preventivas o correctivas ante la problemática.

El análisis sistémico da cuenta de un conjunto de debilidades y fortalezas de la gestión del agua subterránea en el área de estudio, las cuales se caracterizan principalmente por una falta de capacidad institucional para el desarrollo e implementación de un programa de gestión, así como la falta de control y cumplimiento de las normativas vigentes sobre el uso del recurso.

Por lo tanto, el diagnóstico realizado pone de relevancia la necesidad de generar y poner en acción una serie de pautas para la gestión sustentable del agua subterránea acordes a la realidad local. Tal es así que se establecieron, por un lado, un conjunto de indicadores sencillos, útiles para los tomadores de decisión a la hora de monitorear el estado del recurso y las respuestas sociales e institucionales ante la problemática hídrica. Por otro lado, se efectuaron actividades de educación ambiental en cada sector de estudio, las que requieren ser continuadas.

Además, se propusieron pautas de gestión referidas a la importancia de fomentar la capacidad de gobernanza del agua subterránea, mediante la creación de organismos de cuenca que constituyan entes de regulación y control del uso del recurso. También se requiere el monitoreo de información hidrológica, su procesamiento y comunicación a todos los sectores sociales. Es necesaria la elaboración e implementación de una planificación estratégica sobre el uso y la asignación de los recursos hídricos, que dé lugar a la participación de los actores involucrados y contemple actividades de educación y capacitación tendientes a la preservación del agua. Este tipo de planes de acción debe estar acompañado de la utilización de instrumentos de manejo, tales como las evaluaciones de impacto ambiental o la implementación de tarifas en la utilización del recurso, y también por una serie de medidas estructurales basadas en la construcción, mejora y mantenimiento de perforaciones de captación, sistemas de distribución y almacenamiento de agua, y de tratamiento de efluentes tanto en el ámbito doméstico como agropecuario.

Este conjunto de pautas requiere de voluntad política y de participación social, en pos de lograr una co-responsabilidad tanto en el manejo como en la preservación de los recursos hídricos, para el uso actual y el de las generaciones futuras.

## **6.2 COMENTARIO FINAL**

En este apartado se resaltan algunos aspectos ligados al desarrollo de la investigación y su continuidad futura.

En primer lugar, cabe señalar que la Tesis se realizó en un Centro de Investigación interdisciplinario, cuyo grupo de trabajo aporta una mirada sistémica a las investigaciones, circunstancia que permite trabajar y comprender las cuestiones hidrológicas desde una perspectiva más amplia y acorde a la complejidad ambiental.

El Centro de Investigaciones y Estudios Ambientales (CINEA) funciona desde el año 1999 y se encuentra en pleno crecimiento en cuanto a la incorporación y formación de recursos humanos y también en lo referido a la disponibilidad de infraestructura y financiamiento. Esta situación pone de relevancia la dificultad para disponer equipamientos y recursos económicos para desarrollar ciertos aspectos de la investigación. Por ello, en lo que respecta a los análisis de aguas, el CINEA se ha vinculado con laboratorios de la UNICEN, en los que se efectuó la capacitación de la autora para el desarrollo de todas las determinaciones químicas y microbiológicas incluidas en la Tesis. Por otra parte, al no contar con un vehículo institucional para el trabajo de campo, se utilizaron vehículos particulares, lo que a veces ocasiona demoras o inconvenientes en la ejecución de las campañas. En este sentido, se espera seguir fortaleciendo estos aspectos para continuar desarrollando investigaciones relacionadas a los recursos hídricos en Tandil y la región.

En este marco de crecimiento institucional, cabe señalar que la Tesis constituye una de las primeras investigaciones de nivel doctoral desarrolladas íntegramente en el CINEA.

En otro orden de cosas, se señalan algunos hechos que ocurrieron en el desarrollo de la investigación, que enfatizan una vez más la importancia de la gestión integrada del agua y, en particular, la educación y comunicación sobre los recursos hídricos.

Se detallan a continuación algunos comentarios de los habitantes en los domicilios visitados. En uno de ellos, se consideró que el agua de una perforación domiciliar era de buena calidad sólo por el hecho de ser transparente. En otros casos, los vecinos manifestaron que durante toda su vida habían bebido el agua de sus perforaciones, por lo que desestiman la posibilidad de la presencia de microorganismos patógenos que afectaran su salud. Además, se encontraron testimonios que indican que distintos profesionales médicos de Tandil atribuyen a la calidad del agua como la causa de diversas afecciones a la salud, tales como distintos tipos de cáncer, pérdidas de embarazos, malformaciones

congénitas, entre otras; sin embargo, no existen en Tandil registros epidemiológicos que constituyan una evidencia científica para tales aseveraciones.

Otro hecho recurrente es la creencia de la existencia de ríos subterráneos, situación que favorece la fundamentación de que algunos domicilios pueden extraer más agua que otros incluso situados en la misma zona, sin considerar que puede haber otras razones basadas en las características hidrogeológicas y/o de las perforaciones o bombas.

Respecto a las tareas educativas se detectó que los alumnos de la escuela primaria de María Ignacia habían trabajado en clase en temas de hidrología subterránea, especialmente sobre el acuífero Guaraní, creyendo que de allí se extrae el agua que ellos consumen. Esta respuesta de los alumnos se basa en que los manuales escolares incluyen información sobre dicho acuífero, poniendo de manifiesto la necesidad de abordar la educación ambiental basada en la realidad local.

Por otra parte, como una dificultad encontrada, se destacan los problemas de acceso a la información generada en el ámbito gubernamental, en especial, para obtener datos provenientes de Obras Sanitarias Tandil sobre la calidad del recurso en la red de abastecimiento.

Para finalizar, teniendo en cuenta que esta Tesis obviamente no abarca la totalidad de los aspectos ambientales vinculados a los recursos hídricos principalmente debido a la complejidad de su evaluación, se pone de manifiesto la necesidad de continuar trabajando en el abordaje sistémico de las aguas subterráneas. Es así como surgen de la investigación aspectos interesantes para seguir profundizando en instancias postdoctorales. Entre ellos se indican a modo de ejemplos: la realización de nuevos análisis de calidad de aguas, incluyendo elementos minoritarios y la identificación de parásitos; la determinación de perímetros de protección de perforaciones de abastecimiento público, basadas en las características locales del medio subterráneo y las cargas contaminantes presentes; la cuantificación de la huella hídrica generada por distintos procesos productivos; entre otros.

## BIBLIOGRAFÍA

- Acsehrad, H. (2010). The “environmentalization” of social struggles – the environmental justice movement in Brazil. *Estudios Avanzados*, 24 (68): 103-119.
- Aguilera Klink, F. (1999). Hacia una nueva economía del agua: cuestiones fundamentales. *Boletín CF+S* N° 8. Madrid. Disponible en: <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n8/afagu1.html>
- Allen, A (1996). Introducción teórica al desarrollo urbano sustentable. M1: Teoría y Metodología de la Gestión Ambiental del Desarrollo Urbano. Maestría en Gestión Ambiental del Desarrollo Urbano. Centro de Investigaciones Ambientales (CIAM). Universidad Nacional de Mar del Plata. p. 5-53. Mar del Plata.
- Allende Rubino, H. L. (2008). El ambiente como bien jurídico de naturaleza colectiva. En: *Revista Ambiental*, N° 8. Revista del Comité Universitario de Política Ambiental de la Universidad Nacional de Rosario. Ed Laborde. Rosario.
- Ameghino, F. (1889). Contribución al conocimiento de los mamíferos fósiles de la República Argentina. *Academia Nacional de Ciencias de Córdoba*, Actas 6: 1028 p.
- Ander Egg, E. (1995). *Técnicas de investigación social*. 24° Edición. Editorial Lumen. Buenos Aires.
- Anderson, J. R., Hardy, E., Roach, J. y Witmer, R. (1976). A land use and land cover classification system for use with remote sensor data. U. S. Geological Survey, Professional Paper 964. Washington.
- APHA – American Public Health Association (2005). *Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater*. 21<sup>st</sup> Edition. Andrew D., Eaton, A., Clesceri, L., Rice, E., Greenberg, A., Franson, M. (Editors).
- Banda Noriega, R., Ruiz de Galarreta, V. A., Barranquero, R., Díaz, A., Miguel, E. y Rodríguez, C. I. (2008). Caracterización de cargas contaminantes generadas en Tandil y su implicancia en el recurso hídrico. Buenos Aires, Argentina. En: Yaglián, E. y Rodríguez, M. E. (Editores). *II Congreso Internacional sobre gestión y tratamiento integral del agua*. p. 451- 463. Córdoba.
- Banda Noriega, R. y Díaz, A. (2008). Estimación de cargas contaminantes del arroyo Langueyú. Tandil. Buenos Aires. En: "El reto del Desarrollo Sostenible: Estrategias y Acciones. Diálogos y Propuestas". *Actas del IV Congreso Iberoamericano de Ambiente y Calidad de Vida*. p. 198. Catamarca.
- Barranquero, R. (2005). *Calidad del agua de consumo en la ciudad de Tandil*. Tesis de Licenciatura en Diagnóstico y Gestión Ambiental. Facultad de Ciencias Humanas. Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires. Tandil.
- Barranquero, R., Ruiz de Galarreta, V. A. y Banda Noriega, R. (2006). Evaluación de nitratos en los pozos de explotación en la ciudad de Tandil, Buenos Aires, Argentina. En: *Actas del VIII Congreso Latinoamericano de Hidrología Subterránea*. En CD. Asunción.

- Barranquero, R., Miguel, E., Ruiz de Galarreta, V. A. y Varni, M. (2008a). Influencia de la explotación local del recurso hídrico subterráneo sobre la hidrodinámica regional en Tandil, Buenos Aires, Argentina. En: Actas del IX Congreso Latinoamericano de Hidrología Subterránea y Expo Agua 2008. En CD. Quito.
- Barranquero, R., Varni, M., Banda Noriega, R., Ruiz de Galarreta, V. A., Quiroga, M. y Landa, R. (2008b). Caracterización hidroquímica de las aguas subterráneas en la cuenca del arroyo Langueyú, Partido de Tandil, Buenos Aires. En: Actas del II Congreso Argentino de la Sociedad de Toxicología y Química Ambiental (SETAC). En CD. Mar del Plata.
- Barranquero, R., Varni, M. y Ruiz de Galarreta, V. A. (2009). Evaluación de las fluctuaciones del nivel freático en la cuenca del arroyo Langueyú, Partido de Tandil. En: Mariño, E. y Schultz, C. J. (Editores). Actas del VI Congreso Argentino de Hidrogeología. p. 279-288. Santa Rosa.
- Barranquero, R. (2009). Análisis hidrogeológico y evaluación de cargas contaminantes en la cuenca del arroyo Langueyú. Tesis de Maestría en Ciencias Hídricas. Universidad Nacional de La Pampa. Santa Rosa.
- Barranquero, R., Varni, M., Ruiz de Galarreta, V. A. y Ocampo D. (2010). Una primera aproximación a la cuantificación de la recarga en la cuenca del arroyo Langueyú, partido de Tandil. I Congreso Internacional de Hidrología de Llanuras. I: 101-108. Azul.
- Barranquero, R., Varni, M., Ruiz de Galarreta, V. A., Rodríguez, C. I., Miguel, R. E. y Díaz, A. (2011a). Exploración geoelectrica como aporte al conocimiento hidrogeológico de la cuenca del arroyo Langueyú, partido de Tandil, Buenos Aires. En: García, R. y Rocha Fasola, V. (Compiladores). Actas del VII Congreso Argentino de Hidrogeología y V Seminario Hispano Latinoamericano sobre temas actuales de Hidrología subterránea. p. 236-243. Salta.
- Barranquero, R., Varni, M., Ruiz de Galarreta, V. A. y Ocampo D. (2011b). Evaluación del comportamiento hidrodinámico y cuantificación de la recarga en la cuenca del arroyo Langueyú, partido de Tandil. Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente, 27: 63-72.
- Barranquero, R., Pardo, R., Varni, M., Ruiz de Galarreta, V. A. y Vega, M. (2013). Modelling of the groundwater hydrological behaviour of the Langueyú creek basin by using N-way multivariate methods. Hydrological processes. Aceptado en agosto 2013. En prensa.
- Barranquero, R., Varni, M., Ruiz de Galarreta, V. A. y Banda Noriega, R. (2012a). Aporte de la hidroquímica al modelo conceptual del sistema hídrico subterráneo. Tandil, Argentina. GEOACTA 37 (2): 130-146.
- Barranquero, R., Varni, M., Ruiz de Galarreta, V. A., Pardo Almudí, R. y Vega, M. (2012b). Evaluación de los niveles de arsénico y fluoruros en las aguas subterráneas de la cuenca del arroyo Langueyú, Tandil, Buenos Aires, Argentina. En: Actas del Octavo Encuentro del Internacional Center For Earth Sciences, E-ICES 8. En CD. Mar del Plata.
- Billing, P., Bendahmane, D. y Swindale, A. (1999). Water and sanitation indicators measurement guide.

- United States Agency for International Development to the Food and Nutrition Technical Assistance Project. Title 2 Indicators guide.
- Blarasin, M., Cabrera A. y Felizzia, J. (2002). Geoindicadores y problemática ambiental urbana relacionada a cambios de niveles y calidad de aguas subterráneas. Taller sobre geoindicadores y aplicación en campo. Actas en CD. Córdoba.
- Bobbio, N., Matteucci, N. y Pasquino, G. (1991). Diccionario de Política. 6º edición. Siglo XXI Editores. México.
- Catalán Lafuente, J. G. (1969). Química del agua. Editorial Blume. Madrid.
- CEPIS - Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (1996). Lineamientos para la prevención de la contaminación: industria de fundición y tratamiento térmico de metales. Conferencia: Seminario-Taller Prevención de la Contaminación en la Pequeña y Mediana Industria. Lima.
- Chapagain, A. K. y Orr, S. (2009). An improved water footprint methodology linking global consumption to local water resources: A case of Spanish tomatoes. *Journal of Environmental Management* 90: 1219–1228.
- Chapagain A.K. y Hoekstra A.Y. (2004). Water footprints of nations. Volume 1: Main Report. Research Report Series No. 16. UNESCO-IHE. Delft.
- CIAMA - Conferencia Internacional sobre el Agua y el Medio Ambiente (1992). Declaración de Dublín sobre el Agua y el Desarrollo Sostenible. Dublín, Irlanda. Disponible en: [http://www.xeologosdelmundo.org/files/declaracion\\_dublin.pdf](http://www.xeologosdelmundo.org/files/declaracion_dublin.pdf)
- CINEA - Centro de Investigaciones y Estudios Ambientales (2009). Estudio Hidrogeológico en la zona aledaña a la Avenida Don Bosco de la ciudad de Tandil. Convenio Municipalidad de Tandil – UNICEN. Informe final. Tandil.
- Cingolani, C. A. (2005). Unidades morfoestructurales (y estructuras menores) de la provincia de Buenos Aires. En: R. de Barrio, R. Etcheverry, R., Caballé, M. y Llambías, E. (Editores): Geología y Recursos Minerales de la Provincia de Buenos Aires. Relatorio del XVI Congreso Geológico Argentino. Cap. II: 21-30. La Plata.
- CoFAPyS - Consejo Federal de agua potable y saneamiento (1993). Normas de estudio, criterios de diseño y presentación de proyectos de desagües cloacales para localidades de hasta 30.000 habitantes. Fundamentación de normas. II: 7. Argentina.
- Comunidad Europea (1998). Directiva 98/83/CE del Consejo relativa a la calidad de las aguas destinadas al consumo humano. Disponible en: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:1998:330:0032:0054:ES:PDF>
- Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (1992). Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo. Río de Janeiro, Brasil.

- Conferencia Intergubernamental sobre Educación Ambiental (1977). Informe final. Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO). Tbilisi. URSS.
- Custodio, E. y Llamas, M. (1976). Hidrología Subterránea. 2 Tomos. Ediciones Omega. Barcelona.
- Custodio, E. (2011). Planificación y gestión del agua subterránea: aspectos generales y retos. En: García, R. y Rocha Fasola, V. (Compiladores). Actas del VII Congreso Argentino de Hidrogeología y V Seminario Hispano Latinoamericano sobre temas actuales de Hidrología subterránea. p. 1-16. Salta.
- Custodio, E. y Cardoso da Silva Junior, G. (2008). Conceptos básicos sobre o papel ambiental das águas subterrâneas e os efeitos da sua exploração. Boletín Geológico y Minero, 119 (1) 93-106.
- Da Franca, N. (2012). Proyecto GEF “Gobernanza de las Aguas Subterráneas: un Marco Global para Acciones Locales” (FAO, GEF, AIH, UNESCO-PHI, BM). Informe final. Consulta regional América Latina y el Caribe. Montevideo. Disponible en:  
[http://www.hydrology.nl/images/docs/ihp/groundwater\\_governance/Final\\_Report\\_LAC\\_ES.pdf](http://www.hydrology.nl/images/docs/ihp/groundwater_governance/Final_Report_LAC_ES.pdf)
- Dalla Salda, L., Franzese, J. y De Posadas, V. G. (1987). The 1800 Ma mylonite-anatectic granitoid association in Tandilia, Argentina. En: 7<sup>th</sup> International Conference on Basement Tectonics. Abstracts, 28. Kingston.
- Dalla Salda, L., Bossi, J. y Cingolani, C. (1988). The Rio de la Plata cratonic region of southwestern Gondwana. Episodes, 11 (4): 263-269.
- Dalla Salda, L. (1999). Cratón del Río de la Plata. 1. Basamento granítico - metamórfico de Tandilia y Martín García. En: Geología Argentina. Instituto de Geología y Recursos minerales. Anales 29 (4): 97-106. SEGEMAR. Buenos Aires.
- Dalla Salda, L., de Barrio, R. E., Echeveste, H. J. y Fernández, R. (2005). El basamento de las sierras de Tandilia. En: R. de Barrio, R. Etcheverry, R., Caballé, M. y Llambías, E. (Editores): Geología y Recursos Minerales de la Provincia de Buenos Aires. Relatorio del XVI Congreso Geológico Argentino. Cap. III: 31-50. La Plata.
- Davis, S. N. y De Wiest, R. (1971). Hidrogeología. Ediciones Ariel. Barcelona.
- De la Cruz Vera, M., Palero Sanz, J. M., Lucena Rodríguez, R., Cárdenas Aranzana, S. y Valcárcel Cases, M. (2012). Análisis de la Directiva Europea 98/83/CE: Paradigma de la justificación y establecimiento de los valores paramétricos. El caso concreto de los plaguicidas. Rev. Esp. Salud Pública 2012; 86: 21-35. Nº 1. Disponible en:  
<http://helvia.uco.es/xmlui/bitstream/handle/10396/9257/valcarcel1.pdf?sequence=1>
- Díaz, A. (2009). Gestión en el uso del agua en el Paraje De la Canal, Partido de Tandil. En: Actas del Congreso de Ciencias Ambientales COPIME 2009. p. 44. Ciudad de Buenos Aires.
- Díaz, A. y Ruiz de Galarreta, V. A (2009). Percepción Hidrológica Ambiental en el Paraje De la Canal, Partido de Tandil. En: Actas del IV Seminario Hispano Latinoamericano sobre Temas Actuales de Hidrología Subterránea. p. 85-93. Santa Rosa.

- Díaz, A. (2010). Evaluación y propuesta de gestión hídrica sanitaria en el Paraje De La Canal, Partido de Tandil. Tesis de Maestría en Ingeniería Ambiental. Universidad Tecnológica Nacional. La Plata.
- Díaz, A., Rodríguez, C. I. y Banda Noriega, R. (2011). La extensión en las investigaciones ambientales. Casos ejemplo. En: Jornadas de Extensión del Mercosur. Facultad de Ingeniería de Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires. En CD. Olavarría.
- Di Pace, M. (2001). Sustentabilidad urbana y desarrollo local. Módulo 4, Curso de postgrado en Desarrollo local de áreas metropolitanas. Instituto del Conurbano, Universidad Nacional de General Sarmiento. Buenos Aires.
- Doorenbos, J. y Pruitt, W.O. (1990). Las necesidades de agua de los cultivos. Estudio FAO Riego y Drenaje. Roma.
- Dourojeanni, A. (2000). Procedimientos de gestión para el desarrollo sustentable. Serie 10 Manuales. División de recursos naturales e infraestructura. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). Naciones Unidas. Chile.
- Dourojeanni, A. (2002). ¿Quién gobierna a quién en la gestión del agua? Foro de los Recursos Hídricos. Primer Encuentro Nacional. El agua un derecho para todos. CEPAL. Naciones Unidas. Quito.
- Dourojeanni, A., Jouravlev, A. y Chávez, G. (2002). Gestión del agua a nivel de cuencas: teoría y práctica. Serie N° 47. Recursos Naturales e Infraestructura. CEPAL. Santiago de Chile.
- Dourojeanni, A. (2009). Los desafíos de la gestión integrada de cuencas y recursos hídricos en América Latina y el Caribe. Fundación Chile. Santiago de Chile. Disponible en: <http://www.siagua.org/documentos>
- Dourojeanni, A. (2011). Carta Circular N° 34, Junio 2011. Red de Cooperación en la Gestión Integral de Recursos Hídricos para el Desarrollo Sustentable en América Latina y el Caribe. Naciones Unidas, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). Chile.
- FAO – Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2004). Uso de fertilizantes por cultivo en Argentina. Roma.
- Fernández, R. J. (1998). La ciudad verde: Manual de gestión ambiental urbana. Programa editorial del Centro de Investigaciones Ambientales (CIAM). Universidad Nacional de Mar del Plata. Mar del Plata.
- Fidalgo, F., De Francesco, F. y Pascual, R. (1975). Geología Superficial de la Llanura Bonaerense. En: Geología de la provincia de Buenos Aires. Relatorio del VI Congreso Geológico Argentino. p. 103-138. Bahía Blanca.
- Funtowicz, S. y Ravetz, J. (1993). Epistemología política. Ciencia con la gente. Centro Editor de América Latina. p. 11-42. Buenos Aires.
- Gallo, M. A., Villalobo, M. C. y Spampinato, M. F. (2004). Caracterización fisicoquímica y bacteriológica de las aguas del Partido de Tandil. Dirección de Bromatología, Municipio de Tandil.

- En: Actas del Congreso Nacional de Bromatología Municipal. Asociación de Jueces Municipales de Faltas de la Provincia de Buenos Aires. En CD. Mar del Plata.
- Gallopín, G., Funtowicz, S., O'Connor, M. y Ravetz, J. (2001). Una ciencia para el siglo XXI: del contrato social al núcleo científico. *Revista Internacional de Ciencias Sociales*, 168: 47-62. Disponible en:  
<http://portal.unesco.org/shs/en/files/3804/10753802881fulltext168spa.pdf/fulltext168spa.pdf>
- Gallopín, G. (2003). Sostenibilidad y desarrollo sostenible: un enfoque sistémico. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). Serie Medio Ambiente y Desarrollo N° 64: 1-44.
- García, M. C., Bertuccelli, G., Bertuccelli, D. y Martín, A. V. (2006). Riesgo a contaminantes urbanos y adaptación de tecnologías para el tratamiento. En: Actas de las Séptimas Jornadas de Presentación de Trabajos y Extensión del Centro de Investigaciones Geográficas y Primeras Jornadas Nacionales de Geografía de la Argentina y sus Problemas Actuales. p. 22-32. Tandil.
- García, M. C. y Martín, A. V. (2007). Nitratos en aguas de la ciudad de Tandil, y determinación de áreas de riesgo, empleando SIG. En: Actas del V Congreso Argentino de Hidrogeología. p. 489-496. Paraná.
- García, R. (2006). Sistemas complejos. Conceptos, método y fundamentación epistemológica de la investigación interdisciplinaria. Editorial Gedisa. Barcelona.
- García, R. (2011). Interdisciplinariedad y sistemas complejos. *Revista Latinoamericana de Metodología de las Ciencias Sociales*. 1 (1): 65-101. Disponible en:  
<http://www.memoria.fahce.unlp.edu.ar/library?a=d&c=arti&d=Jpr4828>
- Gesche, E., Vallejos, A. y Saez, T. M. (2003). Eficiencia de Anaerobios sulfito-reductores como indicadores de calidad sanitaria de agua. Método de Número Más Probable (NMP). *Archivos de Medicina Veterinaria*. 35 (1): 99-107.
- Gómez Orea, D. y Gómez Villarino, A. (2012). Ordenamiento territorial: una aproximación conceptual y su aplicación al cantón Cuenca, Ecuador. En: *Revista Universidad Verdad* N° 57 Ordenamiento Territorial. p. 29-88. Disponible en: <http://www.uazuay.edu.ec/bibliotecas/publicaciones/UV-57.pdf>
- González, N. (2005). Los ambientes hidrogeológicos de la provincia de Buenos Aires. En: R. de Barrio, R. Etcheverry, R., Caballé, M. y Llambías, E. (Editores): *Geología y Recursos Minerales de la Provincia de Buenos Aires. Relatorio del XVI Congreso Geológico Argentino*. Cap. XXII: 359-376. La Plata.
- Guerrero, E. M., Jacinto, G., Banda Noriega, R. y Ruiz de Galarreta, V. A. (2007). Sistemas de indicadores ambientales para municipios bonaerenses. En: Actas de las Terceras Jornadas ASAUUEE. En CD. Trabajo N° 6: 10. Tucumán.

- Guerrero, E. M. (2011). Eventos hídricos excepcionales en la ciudad de Tandil, su espacialización histórica y su relación con la gestión del agua superficial. *Revista Geousal*. Año VI, N° 10. Buenos Aires.
- Guerrero, E. M., Wagner, L. S., Guiñirgo, F., Rodríguez, C. I. y Sosa, B. (2012). Problemáticas, conflictos y movilizaciones ambientales en Tandil. Una aproximación a la historia ambiental local. En: Libro de Trabajos completos de las Primeras Jornadas Nacionales de Ambiente. p. 837-860. Tandil.
- GWP - Global Water Partnership (2000). Manejo Integrado de Recursos Hídricos. TAC Background Papers N° 4. Estocolmo. Disponible en: <http://www.gwpforum.org/gwp/library/TACNO4.PDF>
- GWP - Global Water Partnership (2009). Manual para la gestión integrada de Recursos Hídricos en Cuencas. Londres. Disponible en: [http://www.gwptoolbox.org/images/stories/Docs/handbook%20inbo\\_gwp\\_spanish.pdf](http://www.gwptoolbox.org/images/stories/Docs/handbook%20inbo_gwp_spanish.pdf)
- Hernández, M., Giacconi, L. y González, N. (2002). Línea de base ambiental para las aguas subterráneas y superficiales en el área minera de Tandilia. Buenos Aires. Argentina. En: Bocanegra, E., Martínez, D. y Massone, H. (Editores). Actas del Congreso Internacional XXXII IAH & VI ALHSUD Aguas Subterráneas y Desarrollo Humano. p. 336-343. Mar del Plata.
- Hernández, M. (2005). Panorama ambiental de los recursos hídricos subterráneos en la provincia de Buenos Aires. En: R. de Barrio, R. Etcheverry, R., Caballé, M. y Llambías, E. (Editores): Geología y Recursos Minerales de la Provincia de Buenos Aires. Relatorio del XVI Congreso Geológico Argentino. Cap. XXI: 347-358. La Plata.
- Hernández Muñoz, A., Hernández Lehman, A. y Galán Martínez, P. (2004). Manual de depuración Uralita. Sistemas para depuración de aguas residuales de hasta 20000 habitantes. Thomson Editores. Madrid.
- Hoekstra, A. Y. (2003). Virtual water trade: Proceedings of the International Expert Meeting on Virtual Water Trade, Delft, The Netherlands, Value of Water Research Report Series No. 12, UNESCO-IHE. Delft.
- Holmberg, E. (1972) Tandilia. Simposio Geología Regional Argentina, p. 4-6. Buenos Aires.
- ICLEI - International Council for Local Environmental Initiatives (1996). Manual de planificación para la agenda 21. Una introducción a la planificación para el desarrollo sostenible. Toronto.
- INDEC – Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (2001). Censo Nacional de Población Hogares y Viviendas 2001. Resultados definitivos. Disponible en: <http://www.indec.gov.ar/webcenso/index.asp>
- INDEC – Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (2002). Censo Nacional Agropecuario 2002. Total del país y provincias por departamento. Disponible en: <http://www.ec.gba.gov.ar/Estadistica/cuadros/primar/cnagr.htm>

- INDEC – Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (2010). Censo Nacional de Población y Vivienda 2010. Resultados definitivos. Disponible en:  
<http://www.censo2010.indec.gov.ar/resultadosdefinitivos.asp>
- INTA - Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (1989). Mapa de suelos de la provincia de Buenos Aires, escala 1:500.000. INTA. 544 p. Buenos Aires.
- Iñiguez Rodríguez, A. M. (1999). Cratón del Río de la Plata. 2. La cobertura sedimentaria de Tandilia. En: Geología Argentina. Instituto de Geología y Recursos minerales. Anales 29 (4): 101-106. SEGEMAR. Buenos Aires.
- Iramain, M. S., Nosetti, L., Herrero, M.A., Maldonado May, V., Flores, M. y Carbó, L. (2001). Evaluación del uso y manejo del agua en establecimientos lecheros de la Provincia de Buenos Aires, Argentina. En: Gobierno de Chile; Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. Agua, Vida y Desarrollo. p. 1-11. Santiago de Chile. Disponible en:  
<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/encuen/leche.pdf>
- ISO - International Standard Organization (1986). ISO 6461/1 Water Quality: Detection and Enumeration of the Spores of Sulphite-Reducing Anaerobes (Clostridia).
- ITESO - Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente. Cátedra UNESCO, del 23 de mayo de 2001. Disponible en: <http://portal.iteso.mx/portal/page/portal/ITESO>
- Jacinto, G. (2011). Asentamientos de rango menor (ARM) en Tandil: transformaciones territoriales a partir de la renovación de los vínculos urbano-rurales. Estudios Socioterritoriales. Revista de Geografía. N° 10: 103-124.
- Jouravlev, A. (2003). Los municipios y la gestión de los recursos hídricos. Serie N° 66. Recursos Naturales e Infraestructura. CEPAL. Santiago de Chile.
- Latella, B. (2006). Pautas generales para el manejo integrado del recurso hídrico subterráneo en Tandil. Tesis de Licenciatura en Diagnóstico y Gestión Ambiental. Facultad de Ciencias Humanas. Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires. Tandil.
- Llamas, M. R., Mukherji, A. y Shah, T. (2006). Guest Editor's preface. Hydrogeology Journal 14: 269-274.
- Marchese, H. G. y Di Paola, E. (1975). Miogeosinclinal Tandil. Revista de la Asociación Geológica Argentina. 30 (2): 161-179. Buenos Aires.
- Mariñelarena, A. (2006). Manual de autoconstrucción de sistemas de tratamiento de aguas residuales domiciliarias. FREPLATA Editores. La Plata.
- Marlenko, N. (2003). Uso de la tierra. En: Navone, S. M. Sensores remotos aplicados al estudio de los recursos naturales. Editorial de la Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires. p. 99-122. Buenos Aires.
- Márquez Fernández, D. (2003). De la teoría a la práctica en educación ambiental: el caso del agua. Libro del Congreso Agua y Educación Ambiental: Nuevas propuestas para la acción. p. 13-21. Alicante.

- Marzoratti, M. (2004). Calidad de las aguas subterráneas en un barrio periférico de la ciudad de Tandil. Tesis de Licenciatura en Diagnóstico y Gestión Ambiental. Facultad de Ciencias Humanas de la Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires. Tandil.
- Meadows, D. (1998). Indicators and information systems for sustainable development. Sustainability Institute. Disponible en: [http://www.iisd.org/pdf/s\\_ind\\_2.pdf](http://www.iisd.org/pdf/s_ind_2.pdf)
- Mekonnen, M. M y Hoekstra, A. Y. (2011). The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products. *Hydrology and Earth System Sciences*, 15: 1577-1600.
- Metcalf & Eddy (1994). Ingeniería Sanitaria. Tratamiento, evacuación y reutilización de aguas residuales. Editorial Labor S.A. Barcelona.
- MGAP – Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. (2008). Manual para el manejo de efluentes de tambo. Montevideo. Disponible en: <http://www.cebra.com.uy/presponsable/adjuntos/2008/06/manual-efluentes.pdf>
- Miguel, R. E., Ruiz de Galarreta, V. A. y Banda Noriega, R. (2009). Impacto al recurso hídrico subterráneo por vertedero de residuos de industrias de fundición en Tandil, Buenos Aires, Argentina. Un estudio preliminar” *Boletín Geológico y Minero*, 120 (4): 583-594.
- Miranda del Fresno, M. A. y Ulberich, A. (2010). Problemas ambientales derivados del crecimiento urbano en el sector serrano S-SE de la ciudad de Tandil, provincia de Buenos Aires. En: Actas del VI Congreso Nacional Ambiental 2010. Trabajo N° 04-04. En CD. San Juan.
- Miranda del Fresno, M. A. y Ulberich, A. (2011). Técnicas fotocartográficas, una herramienta para la detección de impactos y problemas ambientales. *Revista de Teledetección* 36: 84-97. Asociación Española de Teledetección. Disponible en: [http://www.aet.org.es/revistas/revista36/Numero36\\_08.pdf](http://www.aet.org.es/revistas/revista36/Numero36_08.pdf)
- Municipio de Tandil (2005). Plan de Desarrollo Territorial, Tandil. Disponible en: <http://www.tandil.gov.ar/>
- Nosetti, L., Herrero, M. A., Pol, M., Maldonado May, V., Iramain, M. S. y Flores, M. (2002a). Cuantificación y caracterización de agua y efluentes en establecimientos lecheros. I. Demanda de agua y manejo de efluentes. *Revista INVet.* 4 (1): 37-43. Buenos Aires. Disponible en: <http://www.fvet.uba.ar/publicaciones/archivos/ant/herrero1.pdf>
- Nosetti, L., Herrero, M. A., Pol, M., Maldonado May, V., Flores, M., Korol, S., Rossi, S. y Gemini, V. (2002b). Cuantificación y caracterización de agua y efluentes en establecimientos lecheros. II. Calidad de efluentes y eficiencia de los procesos de tratamiento. *Revista INVet.* 4 (1): 45-54. Buenos Aires. Disponible en: <http://www.fvet.uba.ar/publicaciones/archivos/ant/herrero2.pdf>
- Núñez M.V. y Verellén M.C. (2007). Problemática ambiental de la actividad tampera en la Cuenca Superior del Arroyo Tandileofú (Partido de Tandil). En: Actas de V Jornadas Interdisciplinarias de Estudios Agrarios y Agroindustriales. En CD. Buenos Aires

- OCDE - Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (1993). OECD core set of indicators for environmental performance reviews. Environment Monographs No. 83. Paris.
- OCDE - Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (2003). Environmental indicators. Development, measurement and use. Reference paper. París. Disponible en:  
<http://www.oecd.org/environment/indicators-modelling-outlooks/24993546.pdf>
- OCDE - Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (2004). OECD Key Environmental Indicators. In: OECD meeting of Environment Ministers. París.
- OMS - Organización Mundial de la Salud (1988). Evaluación Rápida de Fuentes de Contaminación. Traducción y Adaptación de WHO offset. Publication N° 62. México.
- OMS - Organización Mundial de la Salud (2006). Protecting Groundwater for Health. Managing the quality of Drinking-water sources. IWA Publishing. London.
- OMS - Organización Mundial de la Salud (2008). Guías para la calidad del agua potable. 3° edición. Disponible en: [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/dwq/gdwq3rev/es/](http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3rev/es/)
- OMS - Organización Mundial de la Salud (2011). Nitrate and nitrite in drinking-water. Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality. WHO/SDE/WSH/07.01/16/Rev/1. Disponible en:  
[http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/dwq/chemicals/nitratenitrite2ndadd.pdf](http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/chemicals/nitratenitrite2ndadd.pdf)
- Orozco Hernández, M. E. y Peña Manjarrez, V. (2004). Evaluación diagnóstica para el ordenamiento territorial de la cuenca alta del río Lerma, México. Disponible en:  
<http://www.wgsr.uw.edu.pl/pub/uploads/actas04/10-orozco-pena.pdf>
- Othax, N. (2004). Análisis de la sostenibilidad en la gestión del sistema de agua de red en Rauch. Tesis de Licenciatura en Diagnóstico y Gestión Ambiental. Facultad de Ciencias Humanas de la Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires. Tandil.
- Pandey, V. P., Shrestha, S., Chapagain, S. K. y Kazama, F. (2011). A framework for measuring groundwater sustainability. Environmental Science & Policy. 14: 396-407.
- Pessolano, B. (2011). Análisis geohidrológico de la cuenca del arroyo Chapaleofú Chico, Tandil, y su relación con las prácticas agropecuarias. Tesis de Licenciatura en Diagnóstico y Gestión Ambiental. Facultad de Ciencias Humanas. Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires. Tandil.
- Pessolano, B., Ruiz de Galarreta, V. A., Varni, M., Barranquero, R. y Larsen, A. (2012). Diagnóstico preliminar del recurso hídrico subterráneo y su relación con las actividades agropecuarias en la cuenca del arroyo Chapaleofú Chico, Tandil, Buenos Aires, Argentina. En: Actas 1er Encuentro de Investigadores en Formación en Recursos Hídricos. p. 49. Ezeiza.
- Poiré, D. G. y Spalletti, L. A. (2005). La cubierta sedimentaria precámbrica-paleozoica inferior del sistema de Tandilia. En: R. de Barrio, R. Etcheverry, R., Caballé, M. y Llambías, E. (Editores):

- Geología y Recursos Minerales de la Provincia de Buenos Aires. Relatorio del XVI Congreso Geológico Argentino. Cap. IV: 51-68. La Plata.
- Pujadas, R. y Font, J. (1998). Ordenación y planificación territorial. Editorial Síntesis. Colección Espacios y Sociedades. Madrid.
- Quiroga Martínez, R. (2003). Indicadores de Desarrollo Sostenible para América Latina y el Caribe. CEPAL. Santiago de Chile. Disponible en:  
<http://www.eclac.org/deype/publicaciones/xml/4/34394/LCL2771e.pdf>
- Rabassa, J. (1973). Geología superficial de la Hoja "Sierras de Tandil" Provincia de Buenos Aires. LEMIT Anales 3, Serie 2, 240: 115-160. La Plata.
- Reed, M. S., Graves, A., Dandy, N., Posthumus, H., Hubacek, K., Morris, J., Prell, C., Quinn, C. H. y Stringer, L. C. (2009). Who's in and why? A typology of stakeholder analysis methods for natural resource management. *Journal of Environmental Management* 90: 1933-1949.
- Rheinheimer, G. (1987). Microbiología de aguas. Editorial Acribia S.A. Zaragoza.
- Rodríguez, C. I. (2005). Planificación del riego complementario para la producción de papa, en el partido de Tandil. Tesis de Licenciatura en Diagnóstico y Gestión Ambiental. Facultad de Ciencias Humanas. Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires. Tandil.
- Rodríguez, C. I., Ruiz de Galarreta, V. A., Quiroga, M. A. y Landa, R. (2008a). Hidrodinámica e hidroquímica subterránea en la zona del barrio Cerro Los Leones, Tandil, Buenos Aires. En: Yaglián, E. y Rodríguez, M. E. (Editores). *Actas del II Congreso Internacional sobre gestión y tratamiento integral del agua*. p. 572-581. Córdoba.
- Rodríguez, C. I., Ruiz de Galarreta, V. A. y Tabera, A. (2008b). Condiciones de explotación y uso doméstico del agua: el caso de un barrio periférico de la ciudad de Tandil, Buenos Aires, Argentina. *Cuadernos del CURIHAM*. Vol. 14: 51-58. Rosario.
- Rodríguez, C. I. y Ruiz de Galarreta, V. A. (2008). La educación ambiental como una estrategia de gestión integral del agua. En: *Actas del IV Congreso Iberoamericano de Ambiente y Calidad de Vida*. Catamarca. p. 120-121.
- Rodríguez, C. I., Díaz, A., Banda Noriega, R. y Ruiz de Galarreta, V. A. (2009). Educación y transferencia para la gestión del agua: casos de Tandil. En: *Actas del Congreso de Ciencias Ambientales COPIME 2009*. p. 58. Ciudad Autónoma de Buenos Aires.
- Rodríguez, C. I. (2010). Evaluación ambiental de las condiciones de explotación y uso del recurso hídrico subterráneo en el barrio Cerro Los Leones, Tandil. Tesis de Maestría en Evaluación Ambiental de Sistemas Hidrológicos (Mención Ecohidrología). Facultad de Ciencias Naturales y Museo. Universidad Nacional de La Plata. La Plata.
- Rodríguez, C. I., Ruiz de Galarreta, V. A., González, N., Barranquero, R. y Varni, M. (2010a). Evolución de los niveles freáticos y su relación con la explotación del recurso. Barrio Cerro Los Leones,

- Tandil. En: Memorias del X Congreso ALHSUD Aguas subterráneas y desarrollo sustentable de los pueblos latinoamericanos. En CD, trabajo 09-AR, Comisión T4. Caracas.
- Rodríguez, C. I., Jacinto, G. P., Ruiz de Galarreta, V. A. y Banda Noriega, R. (2010b). Gestión del agua subterránea en el barrio Cerro Los Leones, Tandil (Argentina). *Revista Ciencia Docencia y Tecnología*. Universidad Nacional de Entre Ríos. 41: 193-216.
- Romero, J. C. (1970). The movement of bacteria and viruses through porous media. *GroundWater*. 8 (2): 37-48.
- Ruiz de Galarreta, V. A., Banda Noriega, R. y Granato, F. (2004). Riesgo de contaminación hídrica en el Parque Industrial de Tandil, Provincia de Buenos Aires, Argentina. Seminario Vulnerabilidad de Acuíferos. RED XVII-A (CYTED). Lima. Disponible en: <http://tierra.rediris.es/hidrored/ponencias/lima/21galarreta.html>
- Ruiz de Galarreta, V. A. y Banda Noriega, R. (2004). Caracterización hidrológica y de nitratos del partido de Tandil. Convenio CINEA-FCH-UNICEN y Comisión de Lucha Contra Plagas Agrícolas de Tandil. Informe final. Inédito.
- Ruiz de Galarreta, V. A. y Banda Noriega, R. (2005). Geohidrología y evaluación de nitratos del Partido de Tandil, Buenos Aires, Argentina. En: *Actas del IV Congreso Argentino de Hidrogeología y II Seminario Hispano Latinoamericano sobre temas actuales de la Hidrología Subterránea*. p. 99-108. Río Cuarto.
- Ruiz de Galarreta, V. A. (2006). Geohidrología y balance hidrológico de la zona no saturada en la cuenca superior del arroyo Tandileofú, Provincia de Buenos Aires. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Naturales y Museo. Universidad Nacional de La Plata. La Plata.
- Ruiz de Galarreta, V. A., Varni, M., Banda Noriega, R. y Barranquero, R. (2007). Caracterización geohidrológica preliminar en la cuenca del Arroyo Langueyú, Partido de Tandil, Buenos Aires. En: *Actas del V Congreso Argentino de Hidrogeología*. p. 119-128. Paraná.
- Ruiz de Galarreta, V. A., Banda Noriega, R., Barranquero, R., Díaz, A. A., Rodríguez, C. I. y Miguel, R. E. (2010). Análisis integral del sistema hídrico, uso y gestión. Cuenca del arroyo Langueyú, Tandil, Argentina. *Boletín Geológico y Minero*. 121 (4): 343-356.
- Ruiz de Galarreta, V. A. y Varni, M. (2010). Análisis de la recarga del acuífero freático en la cuenca superior del arroyo Tandileofú. Partido de Tandil. En: *Estudios Ambientales II "Tandil y área de influencia"*. Ulberich, A. (Coord). CINEA – UNICEN. p. 81-90. Tandil.
- Ruiz de Galarreta, V. A., Barranquero, R., Varni, M. y Rodríguez, C. I. (2011). Geología e hidrolitología de la cuenca del Arroyo Langueyú, Provincia de Buenos Aires (Argentina). *Revista Ciencia Docencia y Tecnología*. 43: 157-176.
- Sala, J. (1975). Recursos Hídricos (Especial mención de las aguas subterráneas). En: *Geología de la Provincia de Buenos Aires. Relatorio del VI Congreso Geológico Argentino*. p. 169-193. Buenos Aires.

- Sala, J., Rojo, A., Martin, E. y Ulibarrena, J. (1981). Investigaciones geohidrológicas de la cuenca de Tandil y su zona de influencia. Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires. Informe inédito. La Plata.
- Simini, J. y Rivas Roche, C. (1980). Diagnóstico de Recursos Hídricos. Municipalidad de Tandil. Secretaría de Obras Públicas. Dirección de Industria. Informe inédito. Tandil.
- Smeets, E. y Weterings, R. (1999). Environmental indicators: typology and overview. Technical Report N° 25. European Environment Agency. Copenhagen.
- Teruggi, M., Mauriño, V., Limousin, T. y Schauer, O. (1958). Geología de las Sierras de Tandil. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 13 (3): 185-204.
- Teruggi, M. y Kilmurray, J. (1975). Tandilia. En: Geología Provincia de Buenos Aires. Relatorio del VI Congreso Geológico Argentino. p. 55-77. Bahía Blanca.
- Teruggi, M. y Kilmurray, J. (1980). Sierras Septentrionales de la Provincia de Buenos Aires. En: Geología Regional Argentina. Academia Nacional de Ciencias de Córdoba. II: 919-965. Córdoba.
- Thornthwaite, C. W. y Mather, J. R. 1957. Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the water balance. Climatology Drexel Institute of Technology. Laboratory of Climatology, Publication N° 10: 185-311. Centertown.
- Turner, J. (1975) Síntesis. En: Geología de la provincia de Buenos Aires. Relatorio del VI Congreso Geológico Argentino. p. 9-27. Bahía Blanca.
- UNESCO-IHP (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura - International Hydrological Programme). (2012). Water education for sustainable development. A global synthesis. Disponible en: <http://unesdoc.unesco.org/images/0021/002158/215884e.pdf>
- V Foro Mundial del Agua (2012). Hacia una buena gobernanza para la gestión integrada de los Recursos Hídricos. Marseille, Francia. Disponible en: [http://www.unesco.org/phi/fileadmin/phi/infocus/Foro\\_Mundial\\_del\\_Agua\\_2012/5\\_hacia\\_una\\_buena\\_gobernanza\\_para\\_la\\_gestion\\_integrada\\_de\\_los\\_recursos\\_hidricos.pdf](http://www.unesco.org/phi/fileadmin/phi/infocus/Foro_Mundial_del_Agua_2012/5_hacia_una_buena_gobernanza_para_la_gestion_integrada_de_los_recursos_hidricos.pdf)
- Venacio, L. (2007). Globalización, Desarrollo Local y Sociedad Civil. El Partenariado transnacional como base para la internacionalización del desarrollo local. Estudio de complementariedad entre la Provincia de Modena (Italia) y la ciudad de Tandil (Argentina). Tesis de Master en Relaciones Internacionales. Università Degli Studi Di Bologna. Disponible en: <http://www.eumed.net/libros-gratis/2007a/222/>
- Verellén, M. C. y Sánchez, R. O. (2010). Relaciones entre la diversidad paisajística y la actividad productiva en la Llanura Deprimida del partido de Tandil (Provincia de Buenos Aires). RASADEP 1 - Número Especial. Cambios de uso de la tierra. Causas, consecuencias y mitigación. p. 123-130.
- Villalba, S., Nogar, M. L. y Jacinto, G. (2012). Transformaciones territoriales y problemas ambientales en asentamientos de rango menor. El caso de Gardey (partido de Tandil). En: Libro de Trabajos completos de las Primeras Jornadas Nacionales de Ambiente. p. 566-579. Tandil.

- Villar, J. D. (2008). Análisis bacteriológicos de agua pertenecientes a tambos de la Cuenca Mar y Sierras. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Veterinarias. Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires. Tandil.
- Villholth, K. A. (2006). Groundwater assessment and management: implications and opportunities of globalization. *Hydrogeology Journal* 14: 330-339.
- WCED - World Commission on Environment and Development (1987). *Nuestro Futuro Común*, Conferencia Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo. Oxford University Press. Oxford.
- Yrigoyen, M. R. (1975). Geología del subsuelo y plataforma continental. En: *Geología Provincia de Buenos Aires. Relatorio del VI Congreso Geológico Argentino*. p. 139-168. 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*, 29 (4): 443-69.
- Zárate, M. y Rabassa, J. (2005). Geomorfología de la provincia de Buenos Aires. En: R. de Barrio, R. Etcheverry, R., Caballé, M. y Llambías, E. (Editores): *Geología y Recursos Minerales de la Provincia de Buenos Aires. Relatorio del XVI Congreso Geológico Argentino*. Cap. VIII: 119-138. La Plata.
- Zulaica, M. L. y Sánchez, R. O. (2003). Zonificación ecológica de la cuenca del arroyo Langueyú (Partido de Tandil). *Contribuciones Científicas. Sociedad Argentina de Estudios Geográficos (GAEA)*, 15: 664-684.
- Zulaica, M. L. (2005). Zonificación ecológica y diagnóstico ambiental de la Cuenca del Arroyo Langueyú. Tesis Maestría en Gestión Ambiental. Facultad de Ingeniería y Ciencias Económico-Sociales. Universidad Nacional de San Luis. Villa Mercedes.
- Zulaica, M. L. (2008). Sistemas ambientales de la cuenca superior del arroyo Langueyú (partido de Tandil, Argentina). *Investigaciones Geográficas*, 45: 251-269.

**ANEXOS**

**ANEXO I: PLANILLA DE RELEVAMIENTO DE PERFORACIONES DOMICILIARIAS**

**Sitio N°:**  
**Fecha del censo:**

**1. Datos generales**

<b>Propietario</b>		
<b>Domicilio</b>		
<b>Coordenadas</b>	<b>X =</b>	<b>Y =</b>

**2. Perforación y bomba**

Tipo de punto de agua			
Estado			
Fecha de construcción			
Profundidad de la perforación			
Tipo de bomba			
Diseño del pozo	Encamisado	Cementación Sellado	Otro:
Protección superficial de la perforación			

**3. Toma de muestra y medición del nivel freático**

<b>Medición del nivel freático</b>	Cota de boca de pozo (z)	
	Profundidad del agua (h)	
	Altura de boca de pozo (hbp)	
<b>Muestra N°</b>	Conductividad	

**4. Observaciones**

Acesibilidad	
Posibilidad de toma de muestra	
Posibilidad de medición del nivel	
Focos contaminantes cercanos	
Otros	

**ANEXO II: CUESTIONARIO PARA LOS HABITANTES EN CADA SECTOR DE ESTUDIO**

**Sitio N°:**

**Fecha:**

**Datos generales**

Nombre:		¿Cuántas personas habitan en la casa?	
Dirección/ubicación:		¿Qué edades tienen?	

Salud	Adultos		Niños	
¿Han tenido vómitos–diarreas–gastroenteritis?	SI	NO	SI	NO
¿Cuándo fue la última vez?				
¿Con qué frecuencia ocurre?				

**Maternidad**

¿Hay en la vivienda alguna mujer embarazada?	SI	NO
--	----	----

**\* Si recibe agua por camiones cisterna:**

De dónde saca el agua para	beber?	cocinar?	limpiar?
Agua corriente			
Pozo con bomba automática			
Pozo con bomba manual			
Aljibe/ Jagüel			
Agua de lluvia			
Compra agua envasada			
Recibe agua por camiones cisterna *			
Otra			

¿Qué volumen de agua recibe?	
¿Con qué frecuencia?	
¿Debe pagar por recibir el agua? ¿Cuánto?	
¿Para qué la usa?	
¿Quién le brinda el agua?	
¿De qué zona de la ciudad se obtiene ese agua?	

**Perforación:**

¿Qué tipo de bomba posee para extraer agua?	Manual	Automática
Fecha de construcción de la perforación		No sabe
Profundidad de la perforación		No sabe
¿Está encamisada?	SI	NO
¿Posee cementación o sellado?		No sabe
¿Realiza saneamiento o desinfección del pozo?	SI	NO
¿Cuándo lo hizo por última vez?		
¿Con qué frecuencia lo realiza?		
¿Ha recibido información sobre cómo hacer el saneamiento?	SI. ¿Quién le informó?	NO
Observar y registrar condiciones de la perforación (protección, posible contaminación superficial).		
Observar distancia de la perforación con respecto a focos contaminantes (animales, residuos, etc.).		

**Almacenamiento del agua**

¿Posee tanque de almacenamiento?	SI	NO
¿Realiza limpieza del tanque de agua?	SI	NO
¿Con qué frecuencia?		
¿Qué producto utiliza para la limpieza?		No sabe
¿Ha recibido información sobre cómo hacer la desinfección?	SI. ¿Quién le informó?	NO

**Distribución del agua**

¿Posee cañerías de distribución del agua en el interior de la vivienda?	SI	NO. ¿Cómo realiza la distribución del agua?
¿Llega el agua por cañerías al baño?	SI	NO
¿Llega el agua por cañerías a la cocina?	SI	NO

**Análisis antecedentes**

¿Ha realizado análisis del agua que consume?	SI	NO		
¿Cuándo fue la última vez?				
¿Con qué frecuencia los realiza?				
¿Qué tipo de análisis fueron?	Físico-químicos	Bacteriológicos	Ambos	No sabe
¿Qué resultados se obtuvieron?			No sabe	
¿Recibió información acerca de los resultados?	SI. ¿Quién le informó?	NO		
¿Qué tipo de información le brindaron?				

**Efluentes domiciliarios:**

¿Dónde se disponen los efluentes?	Pozo absorbente	Pozo absorbente con Cámara séptica	Letrina	Otro
¿Ha tenido que desagotar el pozo?	SI. ¿Con qué frecuencia?			NO
¿Existe algún pozo ciego que fuera de uso?	SI. ¿Dónde se ubica?		NO	No sabe
¿A qué distancia está la perforación del pozo ciego? (Tener en cuenta los pozos vecinos)				
¿Qué posición tiene el pozo ciego con respecto a la perforación?	Aguas arriba		Aguas abajo	
Observar y registrar las características constructivas del pozo ciego				

<b>Observaciones</b>  (Accesibilidad, posibilidad de toma de muestra, posibilidad de medición del nivel freático, existencia de otras cargas contaminantes, otros datos de interés)	<b>Croquis del sitio</b>  (Esquema de ubicación de la perforación, el pozo absorbente y la disposición de otras cargas contaminantes)
---	---

**ANEXO III: PLANILLA DE RELEVAMIENTO PARA TAMBOS**

**Tambo N°**

Fecha:

**1. Datos generales:**

Establecimiento		
Propietario		
Ubicación		
Coordenadas:	X =	Y =
Medición del nivel freático	Cota (z) =	
	Profundidad del agua (h) =	
	Altura de boca de pozo (hbp) =	
N° de muestra	Conductividad =	
	pH =	
	Temperatura =	
N° Animales:		

**2. Perforación y bomba**

Tipo de punto de agua			
Estado			
Tipo de bomba	Manual	Automática	
Horas de funcionamiento diarias			Litros/hora =
Fecha de construcción			No sabe
Profundidad de la perforación			No sabe
Diseño del pozo	Encamisado	Cementación Sellado	Otro:
¿Realiza saneamiento o desinfección? ¿Con qué frecuencia lo realiza?	SI	NO	No sabe
¿Ha recibido información sobre cómo realizar el saneamiento? ¿Quién le informó?	SI		NO
Registrar a qué distancia está la perforación con respecto a:	Tambo	vivienda	efluentes
Protección superficial de la perforación			
Focos contaminantes cercanos			

**3. Consumo humano**

¿Cuál es la fuente de agua para consumo humano?	Pozo propio	Agua envasada	Otro
¿Existen antecedentes de análisis de calidad del agua? ¿Qué resultados obtuvieron?	Si	No	No sabe

**4. Efluentes del tambo:**

¿Cómo realiza la limpieza del tambo?	Manguera a presión	Otro:
	¿Cuántas veces por día? ¿Cuántos minutos tarda?	
¿Dónde vierte los efluentes?	Cava o laguna artificial	Otro:
	Nº de cavas o lagunas =	
	Indicar las dimensiones de la laguna o pileta	
¿A qué distancia de la perforación está la zona de vertido?		
¿Realiza algún tipo de tratamiento?	Si ¿Cuál?	No
¿Realiza separación de los sólidos?	Si ¿Dónde los deposita?	No

**5. Pozos absorbentes**

¿Existen pozos absorbentes o “ciegos” cerca de la perforación?	SI Cuántos?	NO
¿A qué profundidad está el pozo ciego?		No sabe
¿Ha tenido que desagotar el pozo?	SI ¿Con qué frecuencia?	NO
Registrar la distancia existente entre la perforación de abastecimiento y el pozo ciego		

<p><b>Observaciones:</b></p> <p>(Accesibilidad, posibilidad de toma de muestra, posibilidad de medición del nivel freático, existencia de otras cargas contaminantes, otros datos de interés)</p>	<p><b>Croquis del sitio:</b></p> <p>(Esquema de ubicación de la perforación, el sitio de disposición de efluentes y el/los pozos absorbentes)</p>
---	---