



# Riesgo sanitario por presencia de *Pseudomonas aeruginosa* en el agua para consumo



**IRENE MARTÍN**

Tesis de licenciatura en Ecología Urbana

Directora: María Di Pace

Co-directora: Ana Carolina Herrero

OCTUBRE DE 2004

# ÍNDICE

<i>Agradecimientos</i> .....	3
<i>Introducción</i> .....	4
<b>1. RECURSO HÍDRICO SUBTERRÁNEO</b> .....	6
1.1 Agua subterránea y acuíferos .....	6
1.2 Contaminación del agua subterránea .....	7
1.2.1 Contaminación microbiológica .....	8
1.3 Las bacterias en el agua subterránea .....	9
1.4 Enfermedades infecciosas de origen hídrico .....	10
<b>2. PSEUDOMONAS AERUGINOSA</b> .....	12
2.1 Características principales de <i>Pseudomonas aeruginosa</i> .....	12
2.1.1 Resistencia antimicrobiana y biopelículas .....	13
2.2 Presencia de <i>P. aeruginosa</i> en el agua para consumo.....	15
2.3 Efectos de <i>P. aeruginosa</i> sobre la salud.....	16
<b>3. RIESGO SANITARIO EN RELACIÓN CON EL AGUA PARA CONSUMO</b> .....	20
3.1 Amenaza y vulnerabilidad social .....	20
3.2 Riesgo.....	21
3.2.1 Riesgo sanitario en relación con el agua para consumo.....	22
<b>4. CASO DE ESTUDIO: CUENCA DEL ARROYO LAS CATONAS</b> .....	23
4.1 Descripción del área de estudio.....	23
4.1.1 Ubicación geográfica de la cuenca.....	23
4.1.2 Usos del suelo .....	25
4.1.3 Sistema hidrogeológico .....	26
4.1.4 Aspectos socioeconómicos.....	27
4.1.5 Infraestructura urbana .....	30
4.1.6 Salud.....	32
4.2 Materiales y metodología del muestreo .....	35
4.2.1 Toma, recolección y almacenamiento de las muestras .....	35
4.2.2 Análisis en laboratorio .....	35
4.3 Resultados del muestreo.....	36
<b>5. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS Y CONCLUSIONES</b> .....	39
5.1 Calidad y manejo del recurso hídrico subterráneo .....	39
5.2 Riesgo sanitario por presencia de <i>P. aeruginosa</i> en el agua para consumo.....	40
<b>6. RECOMENDACIONES</b> .....	46
<b>ANEXO</b> .....	48
<i>Bibliografía</i> .....	50

## Agradecimientos

En primer lugar, quiero expresar mi enorme agradecimiento a María Di Pace y Ana Carolina Herrero, quienes aceptaron dirigirme en este trabajo y lo hicieron con total disposición, respondiendo en todo momento a mis inquietudes.

También agradezco especialmente a Leonardo Fernández por su colaboración principalmente en la confección de la cartografía, a Edna por su ayuda en la traducción de algunos términos en inglés, a Rubén Lombardo y Carlos Ruggerio por sus aportes y a Alfredo, Francesca y Yannet por enviarme bibliografía esencial para este trabajo a la cual era muy difícil acceder desde el conurbano bonaerense.

No quiero dejar de mencionar mis agradecimientos a Adrián Gayoso y Patricio Breglia del Hospital de Moreno por la información que me brindaron, así como también a Liliana Martucci, al IDUAR y a todas las personas que abrieron sus puertas para permitirnos recolectar las muestras.

Dedico este trabajo a Diego, además de agradecerle por las atentas leídas del trabajo que fue realizando y por sus comentarios y sugerencias.

Aprovecho esta instancia final de la carrera universitaria para agradecer a mis padres, Rita y José Pablo, por todo el apoyo que me han dado a lo largo de estos años de estudiante.

Finalmente quiero mencionar que este trabajo fue realizado en el marco del proyecto *"Manejo de las cuencas hídricas en el Región Metropolitana de Buenos Aires. Georreferenciación de la información sobre el estado de las cuencas y análisis de la sustentabilidad ecológica para la gestión del recurso en la región"*, asentado en el Área Ecología Urbana del Instituto del Conurbano de la Universidad Nacional de General Sarmiento y subsidiado por la ANCyT PICT 99 1-06624. Agradezco al equipo de investigadores del Área Ecología Urbana y nuevamente a María Di Pace como responsable del Área por permitirme formar parte de este proyecto

## Introducción

El agua es un elemento vital para los ecosistemas y el acceso a este recurso es esencial para el desarrollo socioeconómico de las ciudades. Aproximadamente el 97% del total del agua en el planeta está contenida en los océanos; el porcentaje restante se compone de agua dulce almacenada en los tres estados y de diversas maneras (lagos, atmósfera, glaciares, ríos, etc.) (Strahler y Strahler, 1997). El agua subterránea, que representa sólo un 0,62% del total, es la fuente principal de abastecimiento de agua dulce para un alto porcentaje de la población mundial.

El agua subterránea es un recurso natural renovable, es decir, que su uso actual no limita su uso futuro siempre y cuando no se afecte su calidad y la explotación no exceda la tasa de renovación natural del acuífero. Este recurso natural no es libre ni gratuito: su aprovechamiento está regulado a través de leyes nacionales, provinciales y municipales y su extracción implica una inversión económica en infraestructura.

La calidad natural del agua subterránea, el relativo bajo costo económico y la relativa simplicidad técnica que implica su extracción en la Región Metropolitana de Buenos Aires (RMBA) son algunos de los motivos por los cuales se la utiliza amplia e indiscriminadamente. Sin embargo, la falta de planificación y control en la explotación del recurso ha provocado su deterioro a causa de la contaminación resultante de diversas actividades antrópicas.

Un alto porcentaje de los habitantes de la RMBA que se abastecen de agua para consumo a partir del recurso hídrico subterráneo, ya sea a través de redes de distribución (privadas, concesionadas o comunitarias) o de perforaciones particulares, enfrentan un riesgo sanitario dada la calidad del agua extraída.

En el área de estudio, delimitada por la cuenca del arroyo Las Catonas que abarca en gran proporción al partido de Moreno, la mayoría de la población no cuenta con acceso al servicio de distribución de agua por red y, en consecuencia, extrae agua para consumo del recurso hídrico subterráneo mediante perforaciones domiciliarias de diversas características respecto a la profundidad, antigüedad, tipo de bomba y presencia de encamisado.

La calidad del agua se evalúa mediante parámetros físicos, químicos y biológicos. Para determinar la calidad bacteriana del agua se analiza la presencia de organismos indicadores cuya determinación es rápida, sencilla y evidencia la existencia de contaminación. La especie *Pseudomonas aeruginosa* es uno de los indicadores de la calidad del agua recomendados por la Organización Mundial de la Salud (OMS) (OPS, 1987).

*P. aeruginosa* es un patógeno oportunista y su presencia en el agua para consumo representa un riesgo para la salud de los habitantes, especialmente para los bebés, niños, ancianos y personas inmunocomprometidas.

Este trabajo plantea como objetivo general analizar la problemática asociada a la presencia de *P. aeruginosa* en el agua con que se abastecen los habitantes establecidos en la cuenca del arroyo Las Catonas, con el fin de producir aportes sobre la calidad del agua para consumo humano y uso doméstico que puedan contribuir con la planificación y gestión del recurso hídrico subterráneo.

El muestreo de la calidad del agua realizado en viviendas, viveros y escuelas establecidas en la cuenca reveló la presencia de esta especie bacteriana. En base a los resultados obtenidos se estudian las posibles fuentes de contaminación de este microorganismo en el agua subterránea y la relación entre la presencia de esta bacteria y las distintas formas de acceso al recurso. Además, este trabajo tiene el propósito de evaluar el riesgo para la salud de los habitantes por ingerir o estar en contacto con agua contaminada por *P. aeruginosa*.

El trabajo está estructurado en tres secciones principales: *el marco teórico-conceptual*, que presenta la dinámica del recurso hídrico subterráneo, el proceso de contaminación que lo afecta (fundamentalmente bacteriana), las características principales de la especie *P. aeruginosa*, los efectos que produce sobre la salud de la población y, por último, los conceptos de amenaza, vulnerabilidad social y riesgo; en segundo lugar se presenta *el caso de estudio*, donde se describen las características de la cuenca (geográficas, socioeconómicas, de infraestructura urbana, etc.), la metodología de muestreo empleada y los resultados obtenidos; finalmente se presentan las *conclusiones* que surgen del análisis de los resultados y se formulan *recomendaciones* con el fin de contribuir en la disminución del riesgo poblacional de contraer enfermedades de origen hídrico y aportar a la planificación y gestión del recurso hídrico subterráneo.

# 1. RECURSO HÍDRICO SUBTERRÁNEO

## 1.1 Agua subterránea y acuíferos

El concepto de *agua subterránea* es definido en la legislación argentina como el “agua existente debajo de la superficie terrestre en una zona de saturación, donde los espacios vacíos del suelo están llenos de agua”<sup>1</sup>.

Las zonas de saturación son las formaciones geológicas capaces de almacenar y transportar el agua subterránea, denominadas *acuíferos*. Estos reservorios posibilitan la extracción de cantidades significativas de agua a través de perforaciones.

Existen diversas clasificaciones de los acuíferos en función de criterios hidrogeológicos, económicos, geológicos, etc. A continuación se presenta una de las clasificaciones que resulta sumamente útil para analizar el proceso de contaminación del agua subterránea (Merino *et al*, 1998) y que se basa en las diferentes características de los estratos rocosos que limitan superior e inferiormente al acuífero y que definen el carácter de libre, confinado o semiconfinado:

- ♣ *Acuífero libre*: estructura permeable saturada de agua hasta cierto nivel por encima del cual existe una franja de terreno permeable no saturada por donde circula el agua de recarga. El límite entre el acuífero y la zona no saturada determina el *nivel freático*, donde la presión hidráulica es igual a la presión atmosférica.
- ♣ *Acuífero semiconfinado*: el estrato rocoso, denominado *acuitardo*, que se encuentra en el límite superior de este tipo de acuíferos no es totalmente impermeable y permite el paso de cierta cantidad de agua.
- ♣ *Acuífero confinado*: capa rocosa limitada superior e inferiormente por estratos impermeables denominados *acuicludos*, de modo que está prácticamente aislada de los acuíferos superiores.

La fuente principal de recarga de los acuíferos es la infiltración directa de las precipitaciones; por lo tanto, el proceso de recarga depende fuertemente del clima y el nivel freático es fluctuante. El agua se desplaza muy lentamente en el acuífero desde la zona de recarga, determinada por las características geográficas, geológicas, de urbanización, etc. del área, hacia la zona de descarga, que pueden ser manantiales, cauces de ríos, otros acuíferos o el mar, si es un acuífero costero (Merino *et al*, 1998).

---

<sup>1</sup> Decreto N° 831/93, reglamentario de la Ley Nacional N° 24.051 de residuos peligrosos. Anexo I, Glosario.

Diversas actividades antrópicas han alterado el equilibrio natural de recarga y descarga de los acuíferos, modificando la dinámica del sistema hidrogeológico. La recarga es afectada principalmente por excedentes en el riego y por el vertido de desechos líquidos urbanos; en cuanto a la descarga, ésta se ve alterada fundamentalmente por la extracción de agua para distintos usos (doméstico, productivo o consumo humano). Cuando la extracción excede a la recarga en un área geográfica determinada, se producen los denominados conos de depresión con el consecuente descenso del nivel freático.

En las ciudades, a su vez, el proceso de recarga es modificado por el incremento de la superficie impermeabilizada que reduce la infiltración del agua hacia el acuífero y aumenta el escurrimiento superficial hacia ríos o arroyos (fenómeno que potencia el impacto de las inundaciones).

## **1.2 Contaminación del agua subterránea**

El recurso hídrico subterráneo puede ser utilizado en muchos casos sin necesidad de tratamiento previo. La calidad del agua se evalúa a partir de sus propiedades físicas, químicas y biológicas; distintos parámetros fueron establecidos con sus respectivos valores guía que varían según el uso al que se destina el agua.

Sin embargo, en la mayoría de las ciudades que se abastecen para su desarrollo a través del agua subterránea se ha alterado la calidad del recurso y como consecuencia ya no es apto para alguno o ningún uso. Este deterioro es el resultado de una falta de planificación y gestión sobre los usos y explotación del agua subterránea.

De acuerdo con la legislación argentina, “la *contaminación hídrica* es la acción y el efecto de introducir materias o formas de energía o inducir condiciones en el agua que, de modo directo o indirecto, implique una alteración perjudicial de su calidad en relación con los usos asignados al recurso”<sup>2</sup>.

La contaminación del agua subterránea es provocada fundamentalmente por actividades antrópicas y según la actividad que la genera puede diferenciarse en doméstica, industrial o agropecuaria. A su vez, la sobreexplotación del recurso, como consecuencia de efectuar extracciones que exceden la recarga del acuífero, favorece la filtración vertical descendente de las sustancias contaminantes desde las capas superiores hacia los acuíferos profundos (Auge, 1996).

Las actividades mencionadas generan diversos tipos de desechos que pueden afectar al recurso hídrico subterráneo si la eliminación no se realiza en forma adecuada. Las

---

<sup>2</sup> Decreto N° 674/89 - Art. 4°.

sustancias contaminantes pueden diferenciarse en compuestos químicos orgánicos (ej.: benceno, tolueno, acetona, hidrocarburos) e inorgánicos (ej.: nitratos, cloruros, sulfatos), agentes microbiológicos (ej.: bacterias, virus, hongos) y metales pesados (ej.: plomo, arsénico, mercurio), que si bien son sustancias químicas inorgánicas suelen agruparse en otra categoría dado el alto impacto que tienen sobre la salud.

En el caso de la actividad doméstica, ésta genera principalmente desechos orgánicos con el consecuente aporte de microorganismos y nitratos<sup>3</sup>. La actividad agropecuaria también origina este tipo de contaminación, pero además al utilizar fertilizantes y plaguicidas para la mejora de su productividad aporta gran cantidad de nutrientes al agua subterránea que favorecen el desarrollo bacteriano. Por su parte, los desechos industriales contienen la gama más variada de sustancias contaminantes, incluidos los metales pesados.

### **1.2.1 Contaminación microbiológica**

En condiciones naturales el agua subterránea contiene muy pocos microorganismos, debido principalmente a la escasez de nutrientes en este medio. Sin embargo, actualmente es frecuente detectar algún tipo de microorganismo patógeno en los acuíferos, especialmente en el superior, como consecuencia de la perturbación que las urbanizaciones ocasionan en el sistema hidrogeológico (Merino *et al*, 1998).

Los efluentes residuales domésticos, que incluyen a las aguas de lavado y a las de eliminación de excretas, son ricos en nutrientes y favorecen la proliferación de especies bacterianas. Asimismo, las excretas humanas son fuente de contaminación bacteriológica ya que contienen una gran cantidad de bacterias: se estima que la materia fecal contiene un promedio de  $10^9$  bacterias por gramo, algunas de las cuales son patógenas (Lewis *et al*, 1988). De acuerdo con la forma de eliminación de los desechos fecales, la contaminación puede provenir de roturas en la red cloacal, por percolación desde los pozos ciegos o del vertido directo sobre el terreno.

La actividad agropecuaria también incide en la contaminación microbiológica de los acuíferos. En el caso de la ganadería, la contaminación proviene de las heces de los animales (los lixiviados del estiércol acumulado en establos o corrales tienen una alta probabilidad de infiltrarse hacia el agua subterránea). Por su parte, la agricultura aporta este tipo de contaminación cuando utiliza abono de estiércol sin tratamiento previo o al emplear aguas residuales de origen urbano para el riego. Además, como ya se mencionó, los agroquímicos utilizados pueden infiltrarse y aportar nutrientes al agua subterránea favoreciendo el desarrollo bacteriano.

---

<sup>3</sup> La contaminación con nitratos es una de las causas principales del deterioro del agua subterránea a nivel mundial (Auge, 1996).

Del mismo modo, algunos establecimientos industriales (mataderos, papeleras, alimenticias, petroquímicas, etc.) producen efluentes ricos en nutrientes que si se vierten sin tratamiento adecuado inducen el crecimiento de los microorganismos.

Los efluentes líquidos mencionados provenientes de distintas actividades antrópicas son fuentes potenciales de contaminación microbiológica en el agua subterránea. Asimismo, otro aporte importante es el lixiviado de la acumulación de residuos sólidos que contiene una elevada concentración de compuestos nitrogenados, grasas y sales minerales que al infiltrarse hacia los acuíferos también favorecen el desarrollo bacteriano.

### **1.3 Las bacterias en el agua subterránea**

Generalmente los microorganismos que se desarrollan en el agua subterránea se encuentran adheridos a superficies sólidas desde donde extraen por adsorción los nutrientes necesarios para su crecimiento; son pocas las bacterias que se encuentran directamente en suspensión en el agua (Merino *et al*, 1998).

Las actividades antrópicas que aportan materia orgánica al recurso hídrico subterráneo facilitan el desarrollo bacteriano debido a que la mayoría de las bacterias presentes en aguas profundas son heterótrofas, es decir, obtienen energía de la oxidación de materia orgánica. Así es como la concentración de bacterias en el agua está condicionada por la limitación de nutrientes en el medio y la ausencia de alguno de ellos puede restringir su crecimiento. En el agua subterránea suele haber suficiente cantidad de nitrógeno y potasio pero el fósforo es un nutriente limitante. Asimismo, existe competencia entre las distintas especies por los nutrientes disponibles, es decir, que la abundancia de una u otra especie depende de su capacidad para adquirirlos.

El transporte de microorganismos desde el suelo hacia las capas inferiores depende tanto de factores relacionados con las características del organismo como de las propiedades de la zona no saturada, del agua subterránea y de los acuíferos (*Environment Agency*, 2002).

La baja concentración de bacterias que se encuentran en condiciones naturales en el agua subterránea se debe fundamentalmente a que la zona no saturada actúa como filtro natural, reteniendo las partículas de materia orgánica e incluso a algunos microorganismos. Además, existen factores, como la humedad y la temperatura, que inciden en el crecimiento de las bacterias en el suelo (Lewis *et al*, 1988).

## 1.4 Enfermedades infecciosas de origen hídrico

Existe un riesgo para la salud de la población que se abastece con agua contaminada. Las enfermedades de transmisión hídrica pueden diferenciarse entre aquellas causadas por sustancias químicas y las que son originadas por organismos patógenos, siendo esta última la principal causa de enfermedades que se registran en los países en vía de desarrollo (Lewis *et al*, 1988). La cantidad de patologías provocadas por gérmenes patógenos que se registran según el nivel de desarrollo de los países está determinada por el componente social que influye sobre la proliferación de estas enfermedades.

Una persona que está expuesta al contacto o ingiere agua con contaminación microbiana puede resultar infectada dependiendo principalmente de dos factores: la inmunidad<sup>4</sup> del organismo hospedador y la virulencia<sup>5</sup> del microorganismo patógeno. Pero también existe un aspecto social que en muchos casos es determinante ya que define las características inmunes del hospedador y/o favorece el desarrollo del patógeno. En estos casos, las enfermedades no dependen de causas aisladas sino que surgen de un desequilibrio entre el huésped, el patógeno y el ambiente, es decir, son el resultado de la interrelación entre el ser humano y su ambiente.

La influencia de los factores sociales se observa claramente en los sectores que viven en estado de pobreza, con condiciones muy precarias de habitabilidad y escasa higiene, además de no contar con una adecuada nutrición. La alimentación tiene un rol importante en la defensa del organismo: la deficiencia de proteínas en la dieta puede alterar la composición de la microbiota intestinal favoreciendo el desarrollo de patógenos oportunistas<sup>6</sup> en ella.

Aparte de la dieta existen otros factores que están relacionados con la inmunidad de las personas, como son la edad y las características propias del sistema inmunológico, responsable de generar diversos mecanismos de defensa ante el ataque de un patógeno.

La edad es un factor importante que influye en la predisposición del organismo a ser infectado por patógenos. Las enfermedades infecciosas son más frecuentes en bebés y niños, afectándoles especialmente el sistema digestivo<sup>7</sup>, y en adultos mayores de 65 años, quienes sufren principalmente infecciones respiratorias.

---

<sup>4</sup> *Inmunidad*: capacidad de un organismo para resistir una infección.

<sup>5</sup> *Virulencia*: poder de un organismo para invadir el cuerpo del huésped, para multiplicarse en sus tejidos y producirle enfermedades.

<sup>6</sup> *Patógenos oportunistas*: son aquellos que afectan especialmente a las personas inmunocomprometidas.

<sup>7</sup> Las enfermedades diarreicas constituyen uno de los problemas de salud más graves durante la infancia (Zamora *et al*, 2002).

El microorganismo debe alcanzar los tejidos del hospedador para multiplicarse y ocasionar la infección; esto requiere que penetre por la piel o por las membranas mucosas, superficies que normalmente actúan como barreras microbianas. Si el patógeno logra ingresar en el organismo, el sistema inmune activa diversos mecanismos de defensas para destruirlo.

Las personas inmunocomprometidas presentan un inadecuado funcionamiento de los mecanismos de defensa del organismo y por ello son especialmente vulnerables a ser colonizados por los patógenos; los pacientes hospitalizados son en general inmunocomprometidos. También los pacientes inmunosuprimidos son susceptibles a ser infectados por bacterias, a quienes se les suprime el sistema inmunológico a través de fármacos con algún objetivo medicinal; por ejemplo, para evitar el rechazo de un órgano transplantado (Madigan *et al*, 1999).

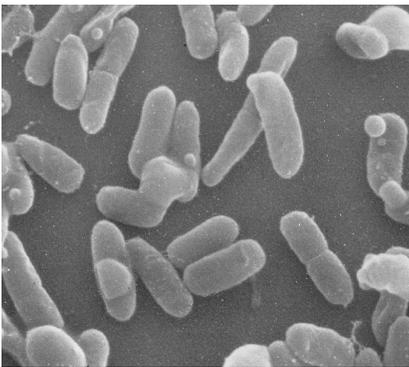
Es importante mencionar que el uso excesivo de antibióticos en la medicina durante los últimos años ha incrementado la resistencia antibacteriana de los microorganismos y, como consecuencia, es muy difícil realizar un tratamiento efectivo contra la infección causada por algunas especies bacterianas; *Pseudomonas aeruginosa* es un ejemplo de ello.

## 2. PSEUDOMONAS AERUGINOSA

### 2.1 Características principales de *Pseudomonas aeruginosa*

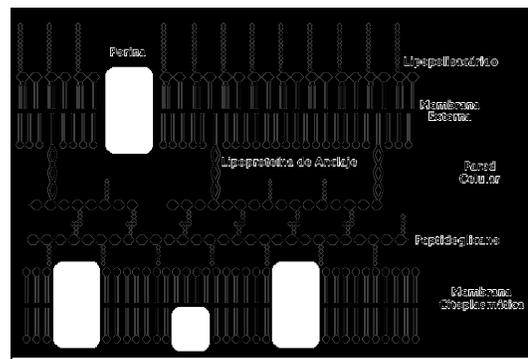
La especie *Pseudomonas aeruginosa* (Figura 1) pertenece al grupo de las bacterias Gram-negativas aerobias. Esta clase de bacterias se diferencian de las Gram-positivas por la estructura de la pared celular ya que contienen una membrana externa compleja, compuesta por diferentes macromoléculas (Figura 2) (Madigan *et al*, 1999). Algunas de sus propiedades principales son: el bajo requerimiento nutritivo, la posibilidad de utilizar una amplia variedad de compuestos orgánicos (tanto como fuente de carbono como de energía) y la capacidad de soportar diversas condiciones físicas.

**Figura 1.** *Pseudomonas aeruginosa*



Fuente: [www.ulb.ac.be](http://www.ulb.ac.be)

**Figura 2.** Pared celular de las Gram-negativa



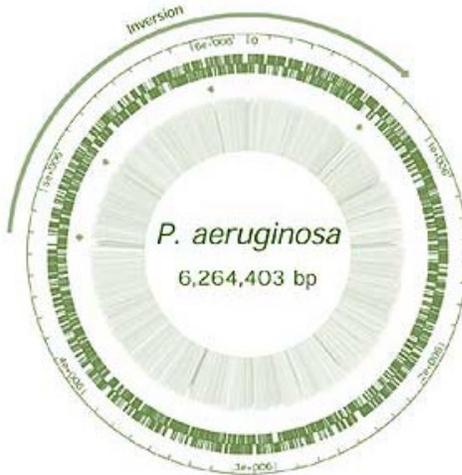
Fuente: [www.microbiologia.com.ar](http://www.microbiologia.com.ar)

Como resultado de estas características particulares, *P. aeruginosa* es capaz de adaptarse a diferentes nichos ecológicos, incluso donde los nutrientes son escasos. Se encuentra ampliamente en el ambiente, tanto en suelos, aguas dulces o saladas (prístinas o contaminadas), como en plantas y animales. También se ha aislado de ambientes inhóspitos para una bacteria, como son el combustible del avión, jabones o agua destilada (Hardalo y Edberg, 1997).

Algunos autores sostienen que la capacidad de adaptarse a diferentes ambientes y de utilizar diversos compuestos orgánicos está dada por las características del genoma de la bacteria (Figura 3). Stover *et al* (2000) plantean que el tamaño extenso del genoma de *P. aeruginosa* (con 6.264.403 pares de bases, es el genoma bacteriano más largo que se ha secuenciado hasta el momento) y su complejidad reflejan una adaptación evolutiva que le permite sobrevivir en diversos ambientes y resistir los efectos de una gran variedad de sustancias antimicrobianas. Esta especie posee una mayor cantidad de genes

reguladores<sup>8</sup> en comparación con los demás genomas bacterianos que fueron secuenciados. Esta particularidad de la bacteria probablemente sea la responsable de coordinar la respuesta de algunos genes a los cambios ambientales.

**Figura 3.** Representación circular del genoma de *P. aeruginosa*.



Fuente: <http://depts.washington.edu>

Esta especie bacteriana es aerobia facultativa, es decir, que en ausencia de oxígeno puede reemplazar a este gas por algún compuesto orgánico; por ejemplo, el nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) y reducirlo a nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ). Este proceso es denominado *desnitrificación*, dado que los productos finales que se obtienen son todos gaseosos (nitrógeno ( $\text{N}_2$ ), óxido nítrico ( $\text{NO}$ ) y óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ )), mucho menos utilizables por los microorganismos, y como resultado se pierde nitrógeno del medio (Madigan *et al*, 1999).

Otras de las características importantes de *P. aeruginosa* son: la capacidad de formar biopelículas que le permite adherirse de manera muy eficaz a las superficies, y la resistencia a los agentes antimicrobianos, factor determinante en la efectividad de los tratamientos que realizan los pacientes infectados.

### 2.1.1 Resistencia antimicrobiana y biopelículas

*P. aeruginosa* es una bacteria naturalmente resistente a muchos de los antibióticos utilizados ampliamente en la medicina, es decir, que tiene la capacidad de crecer ante la presencia de un agente antimicrobiano. Esta propiedad se debe principalmente a que

---

<sup>8</sup> *Gen regulador*: unidad genética que regula o suprime la actividad de uno o más genes que codifican la secuencia de aminoácidos de una cadena polipeptídica, denominados *genes estructurales*.

contiene plásmidos<sup>9</sup> de resistencia cuyos genes codifican proteínas que inactivan el antibiótico o afectan su transporte hacia el interior de la célula (Madigan *et al*, 1999).

Asimismo, la capacidad de formar biopelículas es una cualidad más de esta especie que potencia su resistencia antimicrobiana. Las biopelículas son densas comunidades bacterianas adheridas a una superficie por medio de polisacáridos adhesivos secretados por las propias células. Esta forma de agruparse tiene una estructura compleja que incluye canales por donde las células intercambian oxígeno y otros sustratos con el ambiente (Soberón, 2002). La película de polisacáridos que rodea a la población bacteriana es una efectiva barrera que no permite el ingreso hacia el interior de las células de ciertas sustancias antimicrobianas (Drenkard, 2003).

Se considera que la mayor parte de las células de *P. aeruginosa* que se encuentran en el ambiente están formando biopelículas (Soberón, 2002). Esta aptitud para adherirse tan satisfactoriamente a las superficies dificulta el uso de dispositivos artificiales introducidos o conectados al cuerpo, como las prótesis o los catéteres, ya que son lugares propensos al desarrollo de biopelículas por esta bacteria y se convierten en la fuente de contacto con el enfermo.

Además, esta forma de agruparse de *P. aeruginosa* afecta a las industrias y a las redes de distribución de agua por adherirse a las cañerías e instalaciones, ocasionando taponamiento de filtros y alterando la calidad microbiana del agua. Este fenómeno constituye un serio problema para las industrias y redes de abastecimiento de agua dado que algunas cepas de esta especie bacteriana son resistentes a las dosis de cloro recomendadas para desinfectar el agua (Shrivastava *et al*, 2004). Por lo tanto, el método de desinfección utilizado comúnmente, en el cual el cloro es el agente antimicrobiano, no es totalmente efectivo en la eliminación de *P. aeruginosa*. Las principales industrias afectadas son las del sector alimenticio dado que la presencia de esta bacteria en las tuberías produce serias alteraciones en sus procesos productivos (Valiente y González, 2002).

También pueden encontrarse células de *P. aeruginosa* formando biopelículas en el interior del cuerpo humano. De esta forma, las bacterias resisten satisfactoriamente el ataque del sistema inmunológico y de la mayoría de los antibióticos que normalmente son efectivos en el tratamiento de infecciones causadas por bacterias Gram-negativas. Como consecuencia, las enfermedades que involucran biopelículas son generalmente crónicas y difíciles de combatir.

---

<sup>9</sup> *Plásmido*: molécula de ADN circular, pequeña, extracromosómica y de replicación independiente.

## 2.2 Presencia de *P. aeruginosa* en el agua para consumo

La especie *P. aeruginosa* encuentra en los ambientes acuosos, como son las instalaciones de distribución de agua (cañerías, tanques de almacenamiento, duchas, canillas, etc.), nichos favorables para desarrollarse dada su capacidad, mencionada recientemente, de adherirse a las superficies. Además, diversos materiales utilizados en la construcción de sistemas de distribución de agua y redes de tuberías favorecen el desarrollo de biopelículas conformadas por esta especie (OPS, 1987).

Asimismo, el agua potable es un ambiente propicio para el crecimiento de esta bacteria y es posible encontrarla en agua que ha sido clorada, embotellada o extraída de perforaciones subterráneas (Hardalo y Edberg, 1997). Incluso en el agua mineral cuidadosamente controlada se detectó la presencia de esta especie bacteriana. Luego de que se realiza el proceso de embotellamiento, la bacteria *P. aeruginosa* puede continuar multiplicándose en el agua contenida en el interior de la botella y alcanzar niveles altos de concentración (Legnani *et al*, 1999).

También el agua subterránea es uno de los hábitats donde puede desarrollarse esta especie y su presencia en los acuíferos es estimulada por la contaminación proveniente de los pozos ciegos debido a dos factores: a la presencia de esta bacteria en las heces humanas y al aporte de nutrientes para su desarrollo.

Se han obtenido aislamientos de *P. aeruginosa* en heces de personas sanas<sup>10</sup>, aunque en pequeñas concentraciones si se lo compara con otras bacterias (*Escherichia coli*). Como se analizó en la sección anterior, los líquidos provenientes de pozos ciegos o de pérdidas en la red cloacal, impulsados por la sobreexplotación, percolan hacia los acuíferos con la consecuente presencia de esta bacteria en el agua subterránea.

Además, el incremento de compuestos orgánicos y de nitratos (dado que es una bacteria desnitrificante) en los acuíferos promueve el desarrollo de esta especie en el agua subterránea contaminada. Cabe recordar que *P. aeruginosa* es una bacteria que naturalmente está presente en el suelo, por lo tanto puede filtrarse hacia el acuífero favorecida por la contaminación orgánica en el agua que provee los nutrientes necesarios para el desarrollo bacteriano.

---

<sup>10</sup> Se calcula que sólo entre el 4 y 12% de las personas sanas contiene a esta bacteria en la materia fecal. En personas enfermas se encuentra más frecuentemente y en altas concentraciones (Bodey *et al*, 1983).

## 2.3 Efectos de *P. aeruginosa* sobre la salud

Si bien, dado que *P. aeruginosa* es un organismo ubicuo, la mayoría de las personas están en contacto diariamente con esta bacteria (por ejemplo, por estar presente en algunos alimentos) sólo representa un riesgo sanitario para las personas cuyo sistema inmunológico es deficiente. A este tipo de bacterias se las denomina *patógenos oportunistas* ya que inusualmente originan enfermedades en individuos sanos.

Esta bacteria no necesita vectores específicos para estar en contacto con el organismo humano, la propagación se realiza de paciente a paciente a través de fómites<sup>11</sup> o por ingesta de agua o alimentos contaminados (Shrivastava *et al*, 2004).

Tanto el Código Alimentario Argentino (Ley Nacional N° 18.284) como diversas normas sugeridas por organismos internacionales, como la Organización Mundial de la Salud, establecen que el agua no es apta para consumo humano si se detecta la presencia de esta bacteria en 100 ml de muestra.

*P. aeruginosa* tiene la habilidad de causar daños a distintos órganos del cuerpo y con diversos grados de severidad según las características del organismo hospedador. En la mayoría de los casos en que se produce una infección se debe a una pérdida de la integridad de las barreras físicas de defensa del organismo, como la piel o las membranas mucosas, o a la existencia de una deficiencia en el sistema inmune, en general a causa de portar alguna enfermedad (Samer Qarad, 2003).

Una vez que el microorganismo ingresa en el hospedador y coloniza algún tejido, cada especie presenta factores virulentos responsables de las infecciones. Según Bodey *et al* (1983), cada componente de la especie *P. aeruginosa* tiene propiedades virulentas con diferentes efectos sobre los mecanismos de defensa de la persona colonizada. Algunos componentes de la célula de esta especie controlan la adhesión y colonización y otros intervienen en el pasaje de nutrientes y eliminación de los agentes antimicrobianos.

*P. aeruginosa* es un patógeno invasivo y toxígeno, es decir, que tiene la capacidad de diseminarse a través del cuerpo desde un foco de infección y de generar toxinas que dañan los tejidos del organismo hospedador. En particular, esta especie libera exotoxinas<sup>12</sup> A, capaces de matar células de la persona infectada (Samer Qarad, 2003; Madigan *et al*, 1999).

---

<sup>11</sup> *Fómites o vectores pasivos*: son objetos que pueden conservar y transmitir microbios patógenos (sustancias no alimenticias).

<sup>12</sup> *Exotoxinas*: toxinas que se liberan al medio extracelular a medida que crece el microorganismo. Pueden trasladarse desde un foco infeccioso a zonas alejadas del cuerpo y producir daño en algún órgano o tejido alejado del crecimiento microbiano.

Las personas más susceptibles a contraer alguna infección causada por esta bacteria son principalmente los pacientes con fibrosis quística, cáncer, quemaduras graves y aquellos que por diversas razones deben utilizar dispositivos implantados o conectados al cuerpo.

Tres de las enfermedades causadas por *P. aeruginosa* que se registran con mayor frecuencia son: *septicemia*<sup>13</sup>, en víctimas con quemaduras severas; *infección pulmonar crónica*, en pacientes con fibrosis quística; y *queratitis ulcerativa*<sup>14</sup>, en personas que utilizan lentes de contacto (Lyczak *et al*, 2000). Las dos primeras son significativamente más graves dada la dificultad de realizar un tratamiento efectivo contra esta bacteria.

Otras enfermedades causadas por esta especie a personas inmunodeficientes son: neumonía, meningitis, infecciones en el tracto urinario, en el respiratorio y en las heridas quirúrgicas.

A continuación se presenta una breve descripción de los distintos efectos que provoca la especie *P. aeruginosa* según las características del organismo hospedador.

### Fibrosis quística

La fibrosis quística es la enfermedad hereditaria letal más frecuente en individuos de raza caucásica. La infección originada por *P. aeruginosa* es uno de los principales problemas que afectan a los pacientes con esta patología. Esta bacteria coloniza eficientemente el tracto respiratorio de estos pacientes y produce un progresivo deterioro de sus funciones pulmonares, provocando en muchos casos neumonía.

Un cambio en el sistema inmunológico a causa de esta enfermedad genera una imposibilidad del organismo para defenderse de una infección en el tracto respiratorio. Asimismo, es muy difícil prevenir esta infección y también erradicarla dado que una vez que *P. aeruginosa* coloniza el pulmón de las personas con fibrosis quística, las células forman biopelículas que se adhieren fuertemente a los tejidos de este órgano (Hardalo y Edberg, 1997).

En Argentina se calcula que nacen 120 bebés al año con fibrosis quística, aunque no se dispone de datos definitivos ya que se estima que sólo una cuarta parte de los casos son diagnosticados. Las estimaciones realizadas sugieren que uno de cada treinta adultos es portador de la enfermedad, pero es necesario que ambos padres sean portadores para que haya en cada embarazo un 25% de probabilidad de que nazca un hijo afectado (Ministerio de Salud de la Provincia de Buenos Aires, 2003).

---

<sup>13</sup> *Septicemia*: infección de la sangre causada por microorganismos.

<sup>14</sup> *Queratitis ulcerativa*: inflamación de la córnea que puede causar úlceras.

## Cáncer

A pesar de que la quimioterapia avanza de manera cada vez más eficiente en el control y eliminación de los tumores malignos, la principal consecuencia de realizar este tratamiento en los pacientes con cáncer es el descenso del número de neutrófilos<sup>15</sup> en la sangre, estado denominado *neutropenia*. Los pacientes que presentan esta anomalía son especialmente vulnerables a ser colonizados por *P. aeruginosa* y una vez producida la infección existe una alta probabilidad de causarles la muerte (Hardalo y Edberg, 1997).

También se han detectado infecciones causadas por esta bacteria en pacientes con cáncer a pesar de que no presentaban neutropenia. Se considera que este hecho se debe al uso extensivo de antibióticos en los pacientes con el fin de prevenir o eliminar diversas infecciones (Bodey *et al*, 1983).

Las enfermedades que esta especie bacteriana genera en mayor medida en estos pacientes son neumonía, meningitis y septicemia. También produce infecciones en el tracto gastrointestinal, siendo tiflitis<sup>16</sup> la de mayor gravedad.

## Quemaduras

Las personas que han sufrido quemaduras severas en el cuerpo son propensas a contraer infecciones debido al daño que se produce en la barrera protectora de la piel que favorece el ataque de los patógenos. A partir de un estudio realizado en un centro de quemados en Irán, se detectó que la bacteria *P. aeruginosa* fue la principal colonizadora de las heridas por quemaduras y causante de serias infecciones en los pacientes. Ese mismo estudio revela que la septicemia originada por este organismo es la principal causa de mortalidad entre los pacientes que poseen graves quemaduras en su cuerpo (Rastegar *et al*, 1998).

## Pacientes con dispositivos externos

La presencia de objetos externos implantados en el interior o conectados al organismo (como dispositivos intrauterinos, catéteres, prótesis, tubos endotraqueales o válvulas cardíacas) proveen una superficie húmeda sobre la cual *P. aeruginosa* puede crecer en altas concentraciones y constituyen una fuente de contaminación por donde ingresa la bacteria al organismo. De esta forma la bacteria genera infecciones en el tracto urinario y respiratorio o enfermedades como neumonía, osteomielitis, endocarditis, entre otras, dependiendo del dispositivo utilizado.

---

<sup>15</sup> *Neutrófilos*: leucocitos o glóbulos blancos que están involucrados en las respuestas inmunes del organismo ante la presencia de un patógeno.

<sup>16</sup> *Tiflitis*: inflamación localizada frecuentemente en el ciego, pero que puede afectar a todo el colon.

En el caso de los pacientes internados en terapia intensiva, el riesgo a ser infectados por este germen a través del contacto con objetos externos contaminados es alto dado el estado crítico de los enfermos y la consecuente debilidad del sistema inmune para defenderse del patógeno.

### Otras infecciones

*P. aeruginosa* es la bacteria Gram-negativa que en mayor proporción se aísla de las infecciones en la córnea (Bodey *et al*, 1983). Las personas que utilizan lentes de contactos son más vulnerables a sufrir este tipo de infecciones y, como ya se mencionó, puede generarles queratitis ulcerativa.

Esta especie bacteriana es responsable de aproximadamente el 70% de los casos de otitis externa y los nadadores son los principales afectados. La infección en el oído más severa provocada por *P. aeruginosa*, denominada otitis externa maligna, se presenta generalmente en los diabéticos. Debido a la falta de efectividad de los antibióticos y a la dificultad para identificar esta infección en una fase temprana, la mortalidad supera el 50% de los casos (Bodey *et al*, 1983).

Si bien se han detectado casos de neumonía y septicemia en personas portadoras del Síndrome de Inmunodeficiencia Adquirida (SIDA) causadas por *P. aeruginosa*, éste no es el principal patógeno que afecta a dichos pacientes y en la mayoría de los casos las infecciones aparecen en la etapa terminal de la enfermedad (Hardalo y Edberg, 1997).

Anteriormente se mencionó que *P. aeruginosa* puede provocar meningitis en los pacientes con cáncer, pero éste no es el único grupo afectado. También se identificaron casos de meningitis originada por la presencia de esta bacteria en neonatales, en pacientes con otitis media crónica o sometidos a neurocirugías y en aquellos a quienes se les aplicó anestesia en el cordón espinal (Bodey *et al*, 1983).

*P. aeruginosa* produce otras infecciones en el tracto gastrointestinal además de las que afectan a los enfermos con cáncer. Un grupo especialmente vulnerable son los niños menores de un año; esta bacteria se aísla frecuentemente en niños y bebés con diarrea. Además, la denominada “Fiebre de Shangai” es una enteritis<sup>17</sup> causada por esta especie; esta infección prevalece en lugares donde el agua para consumo está contaminada con este microorganismo (Bodey *et al*, 1983; Madigan *et al*, 1999).

---

<sup>17</sup> *Enteritis*: inflamación de la membrana mucosa de los intestinos.

### 3. RIESGO SANITARIO EN RELACIÓN CON EL AGUA PARA CONSUMO

El enfoque metodológico empleado para evaluar el riesgo poblacional consiste en analizar la vulnerabilidad social frente a un fenómeno amenazante determinado.

#### 3.1 Amenaza y vulnerabilidad social

Se entiende por *amenaza* a la probabilidad de que se produzca un fenómeno capaz de impactar de manera negativa en la población y sus actividades. Las amenazas se diferencian según su origen en *naturales* (no existe una intervención directa de los seres humanos en la ocurrencia del fenómeno ni tampoco la posibilidad de evitarlo) y *antrópicas* (las actividades humanas provocan un incremento en la magnitud del impacto que produce un fenómeno natural o son causantes de la generación del evento amenazante).

Cuando la amenaza deja de ser una probabilidad y finalmente ocurre el fenómeno, éste puede impactar de manera diferenciada sobre las personas. La *vulnerabilidad social* es la condición en virtud de la cual una comunidad está expuesta a ser afectada por un determinado evento.

Esta condición se manifiesta tanto en la debilidad de la comunidad frente a la amenaza (ausencia de la capacidad de resistencia) como en la incapacidad de recuperación luego de que haya ocurrido el fenómeno (ausencia de la capacidad de resiliencia) (Wilches-Chaux, 1998).

La vulnerabilidad es un concepto relativo ya que frente a un fenómeno amenazante existen diferentes capacidades para afrontarlo; es por ello que se debe analizar teniendo en cuenta las condiciones particulares de cada comunidad. Además, posee carácter específico, es decir, se debe evaluar frente a cada amenaza en particular (Wilches-Chaux, 1998). Analizar la vulnerabilidad de los habitantes permite determinar las características de los grupos sociales mayormente expuestos a situaciones adversas que pueden impactar sobre ellos. En este sentido, este concepto suele ser utilizado de manera básicamente instrumental con el objetivo de identificar a la población que será beneficiaria de políticas sociales específicas (Suárez *et al*, 2003).

Asimismo, la vulnerabilidad de un sector de la población es resultado de procesos complejos y dinámicos que acontecen en todo grupo social y que determinan la exposición de algunos o todos los habitantes de la comunidad frente a la amenaza y la posibilidad de recuperación posterior. Existen diversos factores (naturales, físicos,

nutricionales, socioeconómicos, cognoscitivos y culturales, entre otros) que determinan el grado de vulnerabilidad de la población.

Diversos autores coinciden en que el incremento de la vulnerabilidad en las poblaciones urbanas es consecuencia de las características de los procesos de urbanización, de la falta de estrategias populares de mitigación de las amenazas, del empobrecimiento de importantes segmentos de la población, de los usos inadecuados de los sistemas tecnológicos y de los ineficientes sistemas de gestión social del riesgo (Suárez *et al*, 2003).

En el caso de la población que se encuentra en estado de pobreza, el análisis de la vulnerabilidad es complejo. Natenzon sostiene que la diferencia entre la situación de vulnerabilidad y la pobreza es su carácter relativo. La vulnerabilidad está ligada estrechamente a la amenaza y cada individuo o grupo social presenta capacidades diferenciales para afrontarla. En cambio, los sectores pobres de la sociedad son susceptibles a ser afectados por distintas amenazas, en consecuencia la situación de vulnerabilidad ya no es relativa sino global y las capacidades para afrontarlas son limitadas (Suárez *et al*, 2003).

### 3.2 Riesgo

Analizar la vulnerabilidad de la población frente a un fenómeno amenazante permite determinar el *riesgo* al que está expuesta dicha comunidad. El riesgo está asociado con la capacidad de predecir y de ajustarse que tiene una sociedad determinada frente a un evento amenazante. Las diferentes culturas realizan diversas interpretaciones y evaluaciones sobre el riesgo al que están expuestas y poseen distintas estrategias de gestión del riesgo (Suárez *et al*, 2003).

Wilches-Chaux (1998) sostiene que se puede considerar al riesgo como el resultado de una expresión matemática<sup>18</sup>:

$$\text{RIESGO} = \text{AMENAZA} \times \text{VULNERABILIDAD SOCIAL}$$

El riesgo se presenta en esta ecuación como el producto de la coexistencia de la amenaza y de la vulnerabilidad en un mismo sector de la población. Ninguno de estos dos factores aisladamente podría generar un riesgo.

---

<sup>18</sup> Se acude a una sencilla multiplicación para representar cómo se combinan la vulnerabilidad y la amenaza para generar un riesgo, pero la realidad es mucho más compleja que una simple relación aritmética (Wilches-Chaux, 1998).

### **3.2.1 Riesgo sanitario en relación con el agua para consumo**

Durante el siglo XX se ha registrado un importante crecimiento demográfico a nivel mundial que, junto con el éxodo de la población rural, provocó un gran incremento de la población urbana. En las ciudades de los países en vías de desarrollo, el acelerado proceso de urbanización no fue acompañado por la expansión en la provisión de servicios e infraestructura. El resultado es que gran parte de la población vive en condiciones habitacionales muy precarias y no tiene acceso a los servicios de distribución de agua potable, cloacas, recolección de residuos, desagües y centros de salud, por mencionar algunos (Hardoy y Satterthwaite, 1991).

Estas características del proceso de urbanización, sumado a la localización en las ciudades de una gran cantidad de establecimientos industriales que utilizan tecnologías con alto impacto ambiental, han provocado una significativa degradación del ambiente urbano que afectó la calidad de los recursos naturales y, en muchos casos, los niveles de contaminación del agua, suelo y aire ya son irreversibles a corto y mediano plazo. En consecuencia, la población se encuentra en riesgo de contraer alguna enfermedad: por un lado, existen cada vez más fenómenos en las ciudades que constituyen una amenaza para la salud de los habitantes a causa de la degradación ambiental y, por el otro, la población (especialmente algunos sectores de la sociedad) está expuesta a ser afectada dado que se encuentra en estado de vulnerabilidad generado principalmente por las condiciones de habitabilidad.

Como se mencionó en la primera sección, la calidad del recurso hídrico subterráneo ha sido alterada en la mayoría de los centros urbanos, presentando actualmente altos niveles de contaminación. Este fenómeno representa una amenaza para la población que se abastece con agua subterránea para el consumo, ya que son muchos los contaminantes que pueden afectar su salud. La especie bacteriana *Pseudomonas aeruginosa* es uno de ellos y su presencia en el agua para consumo puede provocar infecciones, especialmente en personas inmunocomprometidas, niños y ancianos, como se señaló anteriormente.

## 4. CASO DE ESTUDIO: CUENCA DEL ARROYO LAS CATONAS

En esta sección se presenta el caso de estudio en la cuenca del arroyo Las Catonas. En primer lugar, se describen diversas características de la zona que definen el contexto geográfico, socioeconómico, de infraestructura urbana y habitabilidad; aspectos fundamentales a tener en cuenta en el análisis de la vulnerabilidad de la población. En segundo lugar, se presenta la metodología del muestreo de la calidad del agua y se muestran los resultados que revelan la existencia de un fenómeno amenazante: la presencia de *Pseudomonas aeruginosa* en el agua para consumo con que se abastecen los habitantes de la zona de estudio. En la sección siguiente se analiza la información y se presentan las conclusiones con el objetivo principal de evaluar el riesgo sanitario al que está expuesta la población.

### 4.1 Descripción del área de estudio

#### 4.1.1 Ubicación geográfica de la cuenca<sup>19</sup>

La cuenca del arroyo Las Catonas está ubicada al noroeste de la RMBA<sup>20</sup> (Mapa 1). Esta región incluye a la Ciudad Autónoma de Buenos Aires y a 43 partidos circundantes; en conjunto conforman una gran metrópoli que contiene aproximadamente al 37% de la población total del país. Si bien la región no presenta un aglomerado continuo, sino que su configuración es tentacular resultado de una urbanización alrededor de las vías férreas y del transporte automotor, existe una fuerte interrelación entre los partidos que la conforman y es por ello que debe considerarse que la cuenca en estudio no está aislada en el territorio.

En la RMBA se localizan tres cuencas principales: la de los ríos Luján, Reconquista y Matanza-Riachuelo. El arroyo Las Catonas es afluente del río Reconquista, su longitud es de aproximadamente 18 km y tiene, a su vez, dos afluentes importantes (Arroyo Los Perros y La Cañada Las Catonas) en una de sus márgenes y cursos de agua más pequeños en la otra. La cuenca del arroyo Las Catonas tiene una superficie aproximada de avenamiento de 180 km<sup>2</sup>, que abarca gran parte del partido de Moreno y en menor

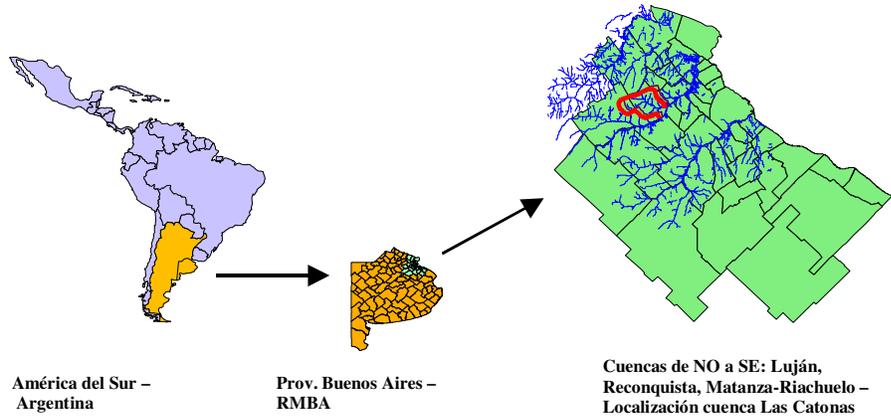
---

<sup>19</sup> Debe considerarse que en este trabajo cuando se hace mención a la “cuenca Las Catonas” se refiere a la *cuenca hidrogeológica*, entendida como una unidad fisiográfica que contiene uno o varios acuíferos conectados o interrelacionados, cuyas aguas fluyen hacia una zona de descarga, y que está delimitada por una divisoria de aguas subterráneas. En ambientes llanos, como el de la RMBA, la cuenca hidrogeológica coincide con la divisoria de agua superficial (cuenca hidrográfica).

<sup>20</sup> Como criterio de regionalización se adopta el propuesto por Kralich, quien se basa en los movimientos diarios pendulares que realizan las personas para satisfacer sus necesidades laborales, educativas, de salud y de consumo y que tiene cierta correspondencia con la estructura de transporte (Kralich, 1999).

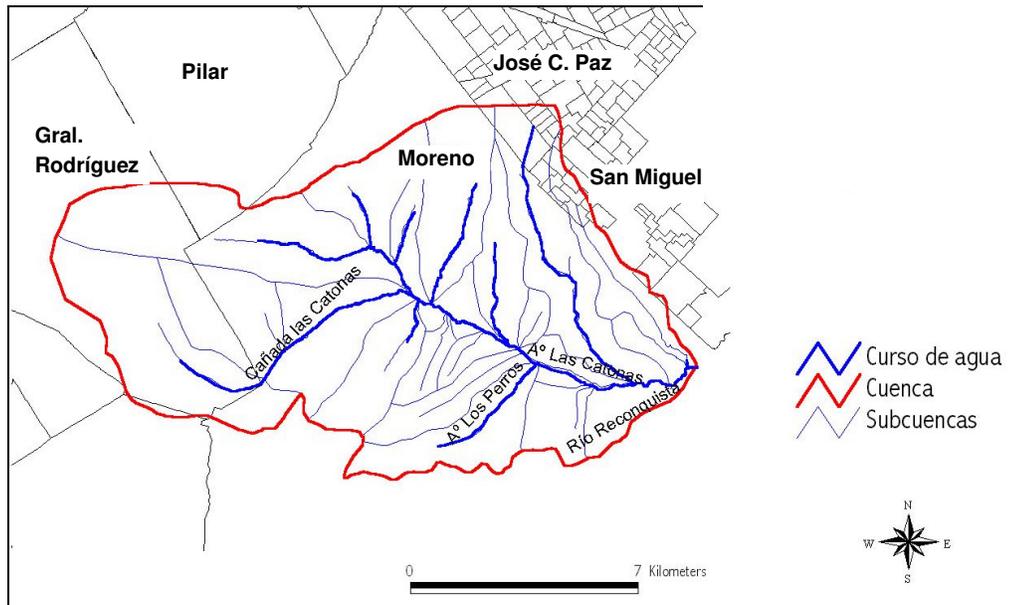
medida a General Rodríguez, Pilar, José C. Paz y San Miguel<sup>21</sup> (Mapa 2) (Fritzsche y Reboratti, 2002; Herrero y Fresina, 2003).

**Mapa 1.** Ubicación de la cuenca Las Catonas



Fuente: Herrero *et al*, 2003.

**Mapa 2.** Partidos que conforman la cuenca Las Catonas.



Fuente: elaboración propia.

<sup>21</sup> Dado que la cuenca abarca mayoritariamente al partido de Moreno y considerando lo dificultoso que resulta obtener ciertos datos, algunas características del área de estudio se describirán en referencia a este municipio solamente.

#### 4.1.2 Usos del suelo<sup>22</sup>

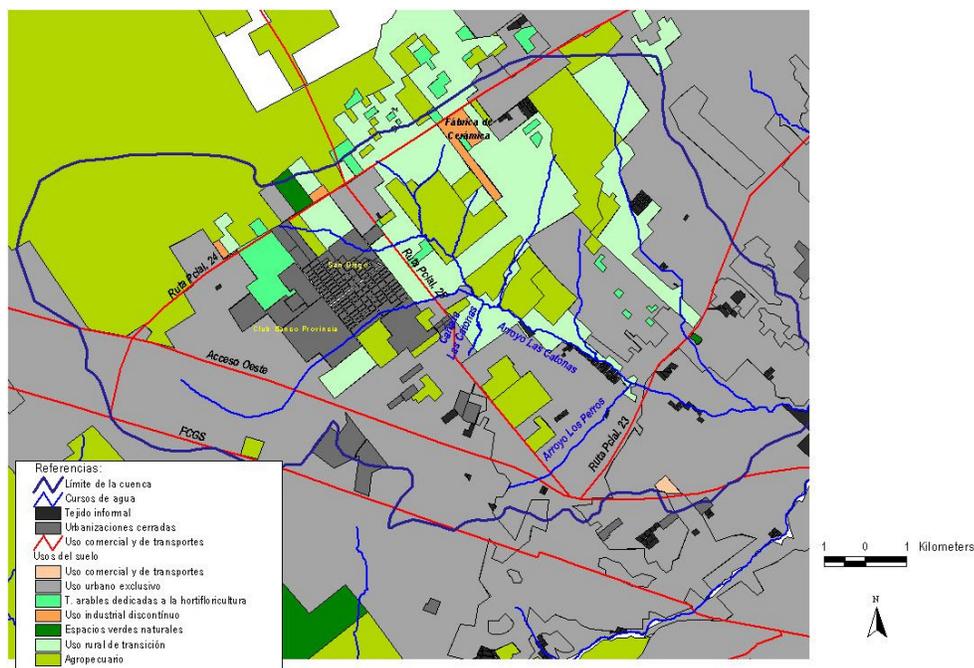
La cuenca en estudio es considerada como *parcialmente aglomerada* debido a que presenta áreas extensas sin edificación. Coexisten en ella los principales usos del suelo: urbano, rural e industrial (Mapa 3).

Dentro del uso urbano se diferencian dos clases: urbano exclusivo y suburbano. Este último presenta, a su vez, dos categorías: tejido informal (asentamientos precarios, marginales o villas de emergencias) y urbanizaciones cerradas.

El uso industrial es discontinuo ya que los establecimientos se encuentran dispersos dentro de la cuenca. Los rubros con mayor producción en la zona son: plástica, metalúrgica, alimenticia, química, construcción, cosméticos y maderera.

Las superficies destinadas a uso rural corresponden principalmente a pasturas y actividades hortícolas. La proporción de territorio destinado a este uso es alta en relación con el resto de los partidos de la RMBA.

**Mapa 3.** Clasificación de los principales usos del suelo en la Cuenca Las Catonas.



Fuente: Herrero *et al*, 2003.

<sup>22</sup> Elaborado en base a Herrero *et al*, 2003.

### 4.1.3 Sistema hidrogeológico

La cuenca del arroyo Las Catonas está situada dentro de una gran región hidrogeológica de aproximadamente 240.000 km<sup>2</sup>, que abarca el noroeste de la provincia de Buenos Aires, centro de Santa Fe y este de Córdoba. El subsuelo de esta región se divide en secciones interrelacionadas que contienen acuíferos de características diversas.

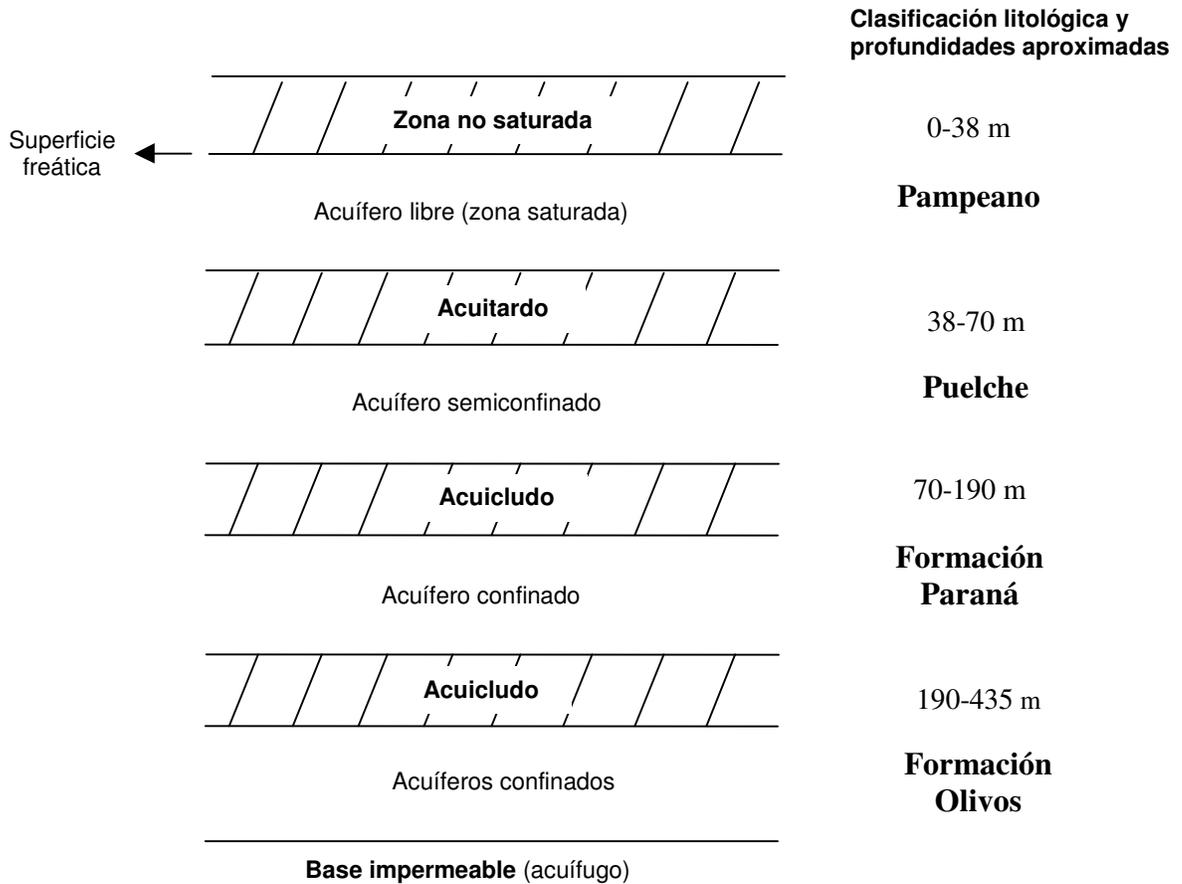
En la sección superior se encuentra el acuífero libre denominado Pampeano, limitado inferiormente por sedimentos acuitardos. Su espesor y profundidad, al igual que la del resto de los acuíferos, varían en el tiempo y según la ubicación geográfica. En la zona de estudio se encuentra entre unos 15 y 30 m de profundidad. Posee una estrecha conexión con la superficie y por lo tanto las actividades antrópicas perturban fácilmente las características del agua que contiene. Este acuífero presenta valores altos de contaminación, fundamentalmente orgánica, en casi la totalidad de la región, por lo tanto es conveniente no utilizarlo para consumo humano y la posibilidad de emplearlo para fines productivos es limitada.

La sección media contiene al acuífero semiconfinado Puelche, asentado sobre sedimentos acuitardos que limitan la filtración vertical descendente y en su techo se encuentra un estrato acuitardo, cuyo espesor varía entre 3 y 15 m. La recarga se produce a partir de la conexión hidráulica con el acuífero Pampeano; aspecto de gran importancia para la filtración de contaminantes. En la zona de la cuenca Las Catonas se estima que la profundidad de este acuífero varía entre los 30 y 40 m y que su espesor alcanza los 20 m (Auge *et al*, 2002). Cabe mencionar que el Puelche es la principal reserva de agua dulce del país y es utilizado en gran parte de la región para el abastecimiento de agua tanto para consumo humano como industrial.

La sección inferior, cuyas características no se conocen en detalle, contiene a las formaciones Paraná y Olivos. En la primera se encuentra un acuífero confinado con valores altos de concentración salina pero que puede ser explotado para algunos procesos industriales. La segunda formación contiene dos acuíferos confinados que se hallan a partir de los 200 m de profundidad. En la parte inferior de esta sección se encuentra la base impermeable del sistema hidrogeológico.

En la Figura 4 se presenta un esquema del sistema hidrogeológico en la RMBA.

**Figura 4.** Sistema hidrogeológico en la RMBA.



Fuente: elaboración propia en base a Herrero y Fresina, 2003.

En esta zona los cursos superficiales son *efluentes*, es decir, que reciben el aporte de los acuíferos superiores y, en general, no se produce el proceso inverso de filtración del agua superficial hacia los acuíferos (Auge, 1996). Por lo tanto, la contaminación del arroyo Las Catonas, en principio, no estaría afectando a la calidad del recurso hídrico subterráneo.

#### 4.1.4 Aspectos socioeconómicos

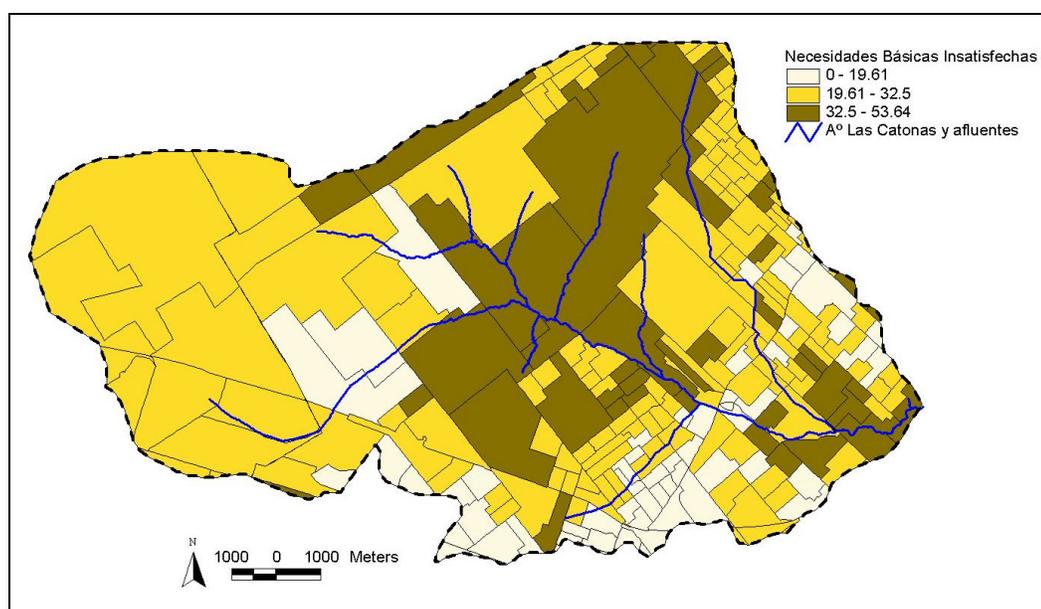
El Instituto Nacional de Estadística y Censos (INDEC), a través de la Encuesta Permanente de Hogares (EPH), evalúa periódicamente la situación socioeconómica de los habitantes del Gran Buenos Aires<sup>23</sup> y divide a los partidos en cuatro categorías, de mejor a peor nivel socioeconómico. Según la encuesta realizada en 1997, San Miguel, José C. Paz y Moreno (partidos que pertenecen al Gran Buenos Aires y parte de su

<sup>23</sup> El Gran Buenos Aires está conformado por la Ciudad Autónoma de Buenos Aires y 19 partidos aledaños.

territorio conforman la cuenca<sup>24</sup>) estaban agrupados en el nivel 4, presentando los valores más altos de desocupación, tasa de demandantes de empleo, asalariados sin jubilación y el menor porcentaje de asalariados con calificación profesional (Fritzsche y Reboratti, 2002).

De acuerdo con el Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas que se llevó a cabo en 2001 (en adelante Censo 2001), el 25% de los habitantes mayores de 14 años del Municipio de Moreno declararon estar desocupados y aproximadamente un 22% de los hogares, cifra que representa al 26% de la población, presenta Necesidades Básicas Insatisfechas<sup>25</sup> (NBI) (Mapa 4).

**Mapa 4.** Porcentaje de hogares con Necesidades Básicas Insatisfechas en la cuenca Las Catonas.



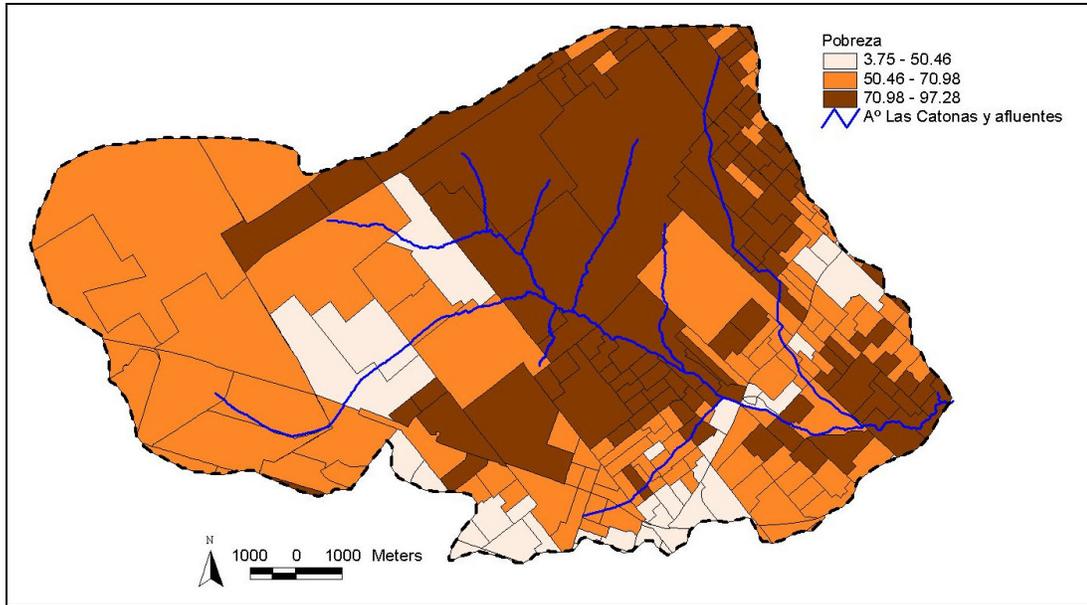
Fuente: elaboración propia en base a datos del Censo 2001, INDEC.

El INDEC ha presentado en este último censo el denominado Índice de Privación Material de los Hogares (IPMH) que da cuenta de la cantidad de hogares en situación de pobreza, distinguiendo tres categorías: pobres estructurales, coyunturales y extremos. Alrededor del 60% de los hogares localizados en Moreno han sido clasificados dentro de algunos de los niveles de pobreza y el valor más alto (24,2%) está representado por los pobres extremos. En el mapa 5 se presenta el porcentaje de hogares por radio censal que se encuentra en condición de pobreza, incluyendo las tres categorías. Se observan en este mapa zonas donde predominan altamente los hogares pobres.

<sup>24</sup> Los partidos de Pilar y General Rodríguez no pertenecen al Gran Buenos Aires.

<sup>25</sup> Este índice identifica los hogares que tienen carencias en la satisfacción de sus necesidades básicas e incluye aspectos relacionados con la vivienda, salud, educación y empleo.

**Mapa 5.** Porcentaje de hogares en condición de pobreza en la cuenca Las Catonas.

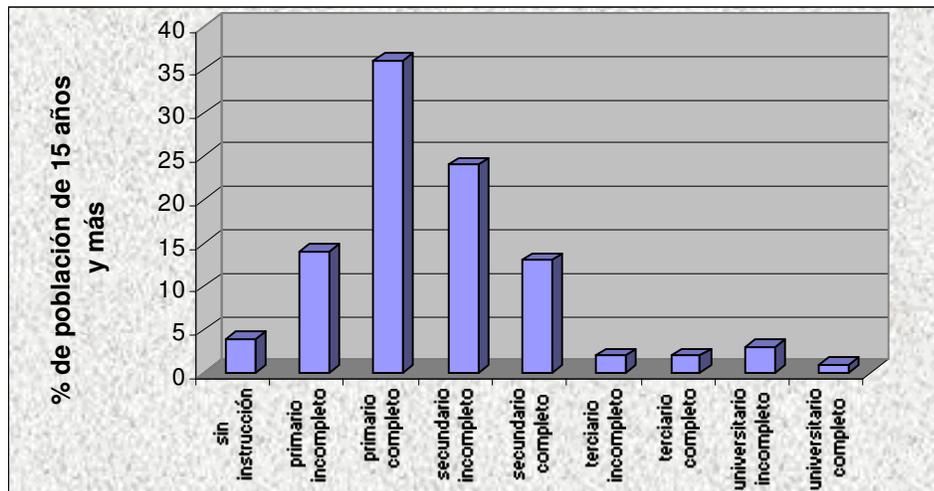


Fuente: elaboración propia en base a datos del Censo 2001, INDEC.

### Nivel educativo

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

**Gráfico 1.** Nivel de instrucción de la población de 15 años y más del partido de Moreno



Fuente: elaboración propia en base a datos de INDEC, 2001.

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

#### **4.1.5 Infraestructura urbana**

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

El proceso de urbanización que se registró en el territorio de la cuenca del arroyo Las Catonas dio como resultado una escasa infraestructura urbana y muchos de los servicios básicos aún no están consolidados en la región. Cabe mencionar que existen áreas con baja densidad poblacional, y por lo tanto, el costo de garantizar la provisión de los servicios a los habitantes es relativamente mayor en comparación con las áreas urbanas densamente pobladas.

A los fines de este trabajo es importante estudiar las características de los servicios de provisión de agua potable y cloacas; ambos poseen una escasa cobertura en la cuenca en estudio. También es relevante analizar las condiciones habitacionales de la población.

##### Agua potable

La extensión de las redes de provisión de agua en el partido de Moreno es relativamente pequeña en relación con su superficie. La red más extensa está ubicada en la localidad central del partido (donde la densidad poblacional alcanza el valor más alto) y aproximadamente la mitad del área cubierta por este servicio se encuentra en la cuenca (Mapa 6). Esta red es operada actualmente por la empresa privada Aguas del Gran Buenos Aires (AGBA), mientras que el resto de la cobertura corresponde a cooperativas vecinales. Todas las redes extraen agua del acuífero Puelche a través de perforaciones ubicadas en distintos sitios dentro del partido. Según el Censo 2001, la extensión actual de las redes estaría abasteciendo al 40% de los hogares de Moreno.

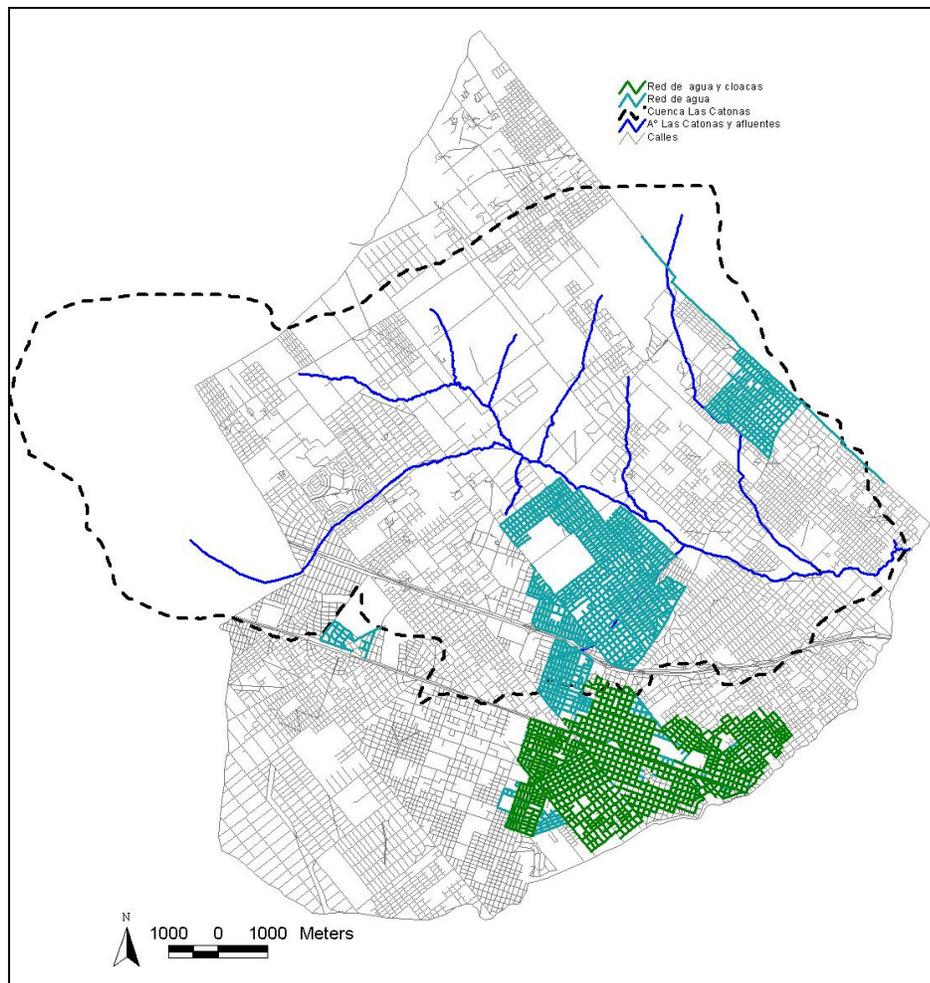
Las viviendas que no acceden al agua por red se abastecen a partir de perforaciones particulares de diversas características (profundidad, antigüedad, tipo de bomba y presencia de encamisado) y es importante mencionar que de acuerdo con el Censo 2001, el 5,5% de los hogares de Moreno (que representa a más de 5000 familias) no cuenta con acceso al agua dentro del terreno de su propiedad. Además existe un alto porcentaje

de viviendas que utilizan bomba manual para acceder al agua (se estima según los datos del último censo que el valor varía entre un 5 y un 9% de los hogares)<sup>26</sup>.

### Cloacas

La red cloacal es aún menos extensa que la de agua potable y también se ubica en la zona central de Moreno. Según los datos del Censo 2001, cerca de un 19% de los hogares del partido cuenta con acceso a este servicio, pero son muy pocos los que están establecidos dentro de la cuenca (Mapa 6). La gran mayoría de las viviendas situadas en esta área disponen las excretas en pozos ciegos, de los cuales más de la mitad declara tener cámara séptica.

**Mapa 6.** Cobertura de redes de provisión de agua y cloacas en el partido de Moreno.



Fuente: elaboración propia en base a información brindada por el Instituto de Desarrollo Urbano, Ambiental y Regional (IDUAR), Municipalidad de Moreno.

<sup>26</sup> No es posible determinar con exactitud la cifra correspondiente a este aspecto a partir de los datos del Censo 2001 debido a que las opciones para contestar a la pregunta ¿de dónde proviene el agua que usa para beber y cocinar? son confusas e incluso existen errores técnicos en la formulación (Ver Anexo).

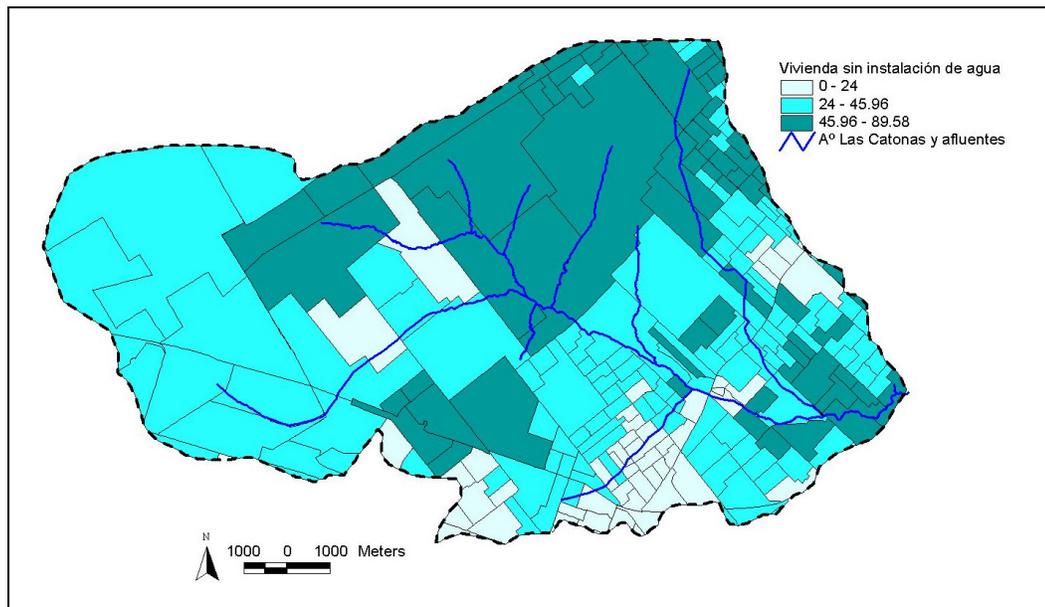
## Viviendas

Se visualiza una heterogeneidad en el área de estudio en cuanto a las condiciones habitacionales ya que, como se mencionó anteriormente, se hallan tanto asentamientos, con condiciones habitacionales muy precarias, como barrios privados, donde las condiciones de las viviendas son óptimas a pesar de que no cuentan con los servicios de agua y cloacas.

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

En el siguiente mapa se muestra el porcentaje de hogares por radio censal que no cuentan con tuberías para distribuir el agua en el interior de la vivienda.

**Mapa 7.** Porcentaje de hogares sin instalación de agua dentro de la vivienda en la cuenca Las Catonas.



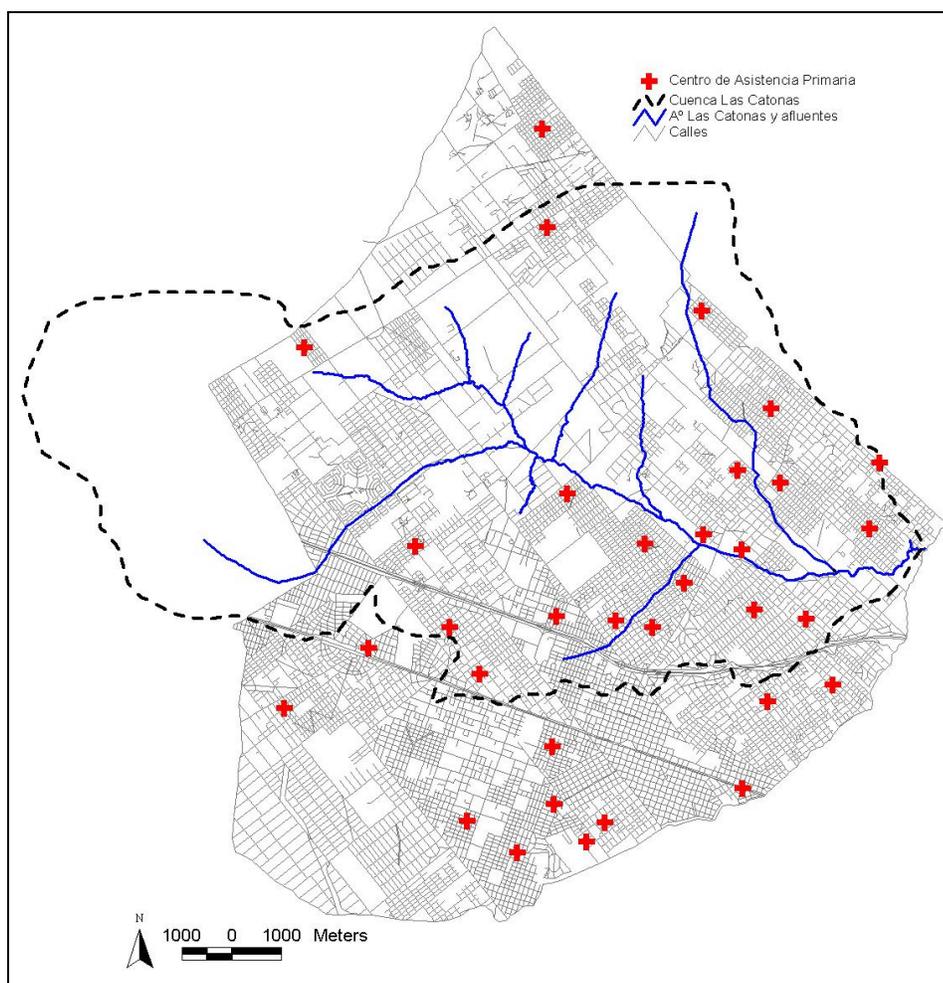
Fuente: elaboración propia en base a datos del Censo 2001, INDEC.

### **4.1.6 Salud**

En la zona de estudio se localizan diversos centros de salud: el hospital provincial Luciano y Mariano de la Vega (ubicado en el centro de Moreno), centros de asistencia primaria (situados de manera dispersa en relación con la densidad poblacional) y

clínicas y consultorios de atención médica privada. El municipio de Moreno cuenta con 21 centros de asistencia primaria localizados en la cuenca (Mapa 8).

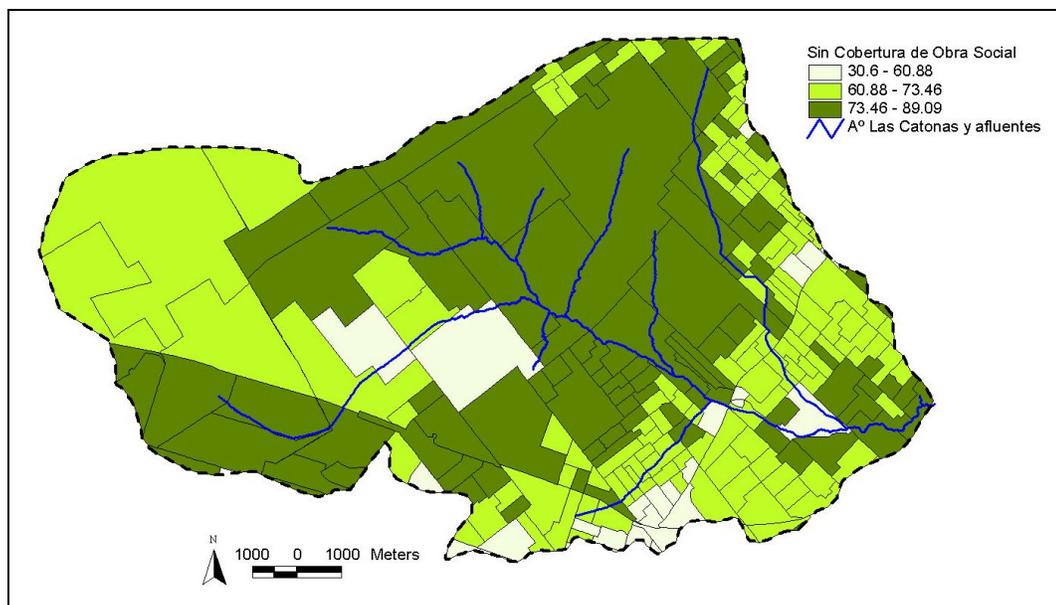
**Mapa 8.** Centros de asistencia primaria en el partido de Moreno.



Fuente: elaboración propia en base a información brindada por el IDUAR, Municipalidad de Moreno.

El Censo 2001 reveló que aproximadamente el 65% de los habitantes de Moreno no cuenta con un plan de cobertura médica (Mapa 9). Del porcentaje restante, sólo un 4% de la población son adherentes a algún plan privado y el resto posee cobertura a través de las obras sociales.

**Mapa 9.** Porcentaje de habitantes sin cobertura de obra social en la cuenca Las Catonas.



Fuente: elaboración propia en base a datos del Censo 2001, INDEC.

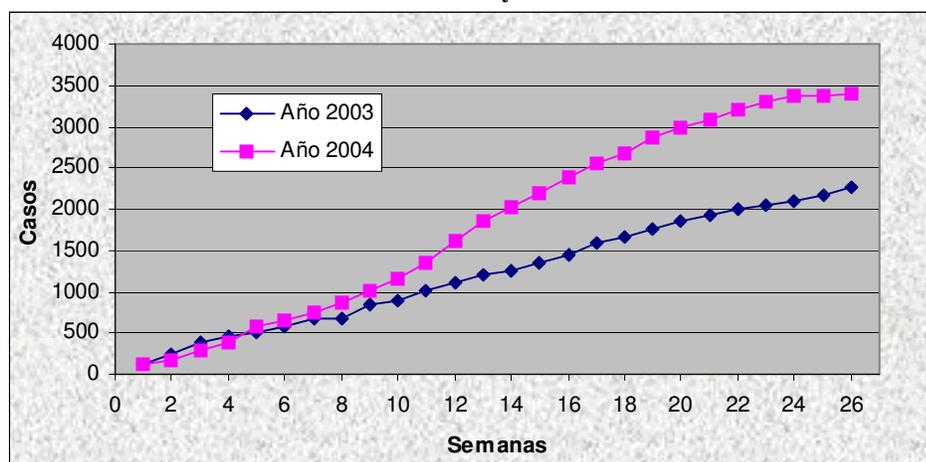
Durante el período 1999-2001 se registró en el municipio de Moreno una tasa de mortalidad infantil<sup>27</sup> de 19%, uno de los valores más altos relevados en los partidos de la RMBA. Debe considerarse también que la población del partido presenta una proporción mayor de menores que en el total de la región (Fundación Banco de la Provincia de Buenos Aires, 2003).

Los partidos de Moreno, José C. Paz y San Miguel son algunos de los municipios de la RMBA que registran una mayor cantidad de casos de enfermedades de origen hídrico, como diarrea, gastroenteritis, parásitos intestinales, hepatitis A, etc. (Fritzsche y Reboratti, 2002). Un médico perteneciente al sector de epidemiología del hospital de Moreno manifestó su preocupación por el incremento de los casos de diarrea durante los meses transcurridos de 2004 en relación con los registrados en 2003 (Gráfico 2).

---

<sup>27</sup> La *tasa de mortalidad infantil* es el cociente entre el número de muertes de menores de un año y los nacidos vivos en el mismo territorio durante un período determinado (Fundación Banco de la Pcia. de Bs. As., 2003).

**Gráfico 2. Número de casos acumulativos de diarrea registrados en Moreno.  
Años 2003 y 2004**



Fuente: elaboración propia en base a datos suministrados por el sector de epidemiología de la Municipalidad de Moreno.

## **4.2 Materiales y metodología del muestreo**

El diseño de muestreo de la calidad de agua para consumo se realizó considerando diferentes variables: usos del suelo, escala geográfica, características geológicas y tipo de acuífero (Herrero y Fresina, 2003). Durante fines de 2002 y principios de 2003 se realizó la toma de las muestras de agua en viviendas particulares, viveros y establecimientos educativos localizados en la cuenca. Las muestras provienen tanto del acuífero Pampeano como del Puelche. La mayoría de las muestras del acuífero superior se efectuaron en viviendas que cuentan con bombas manuales para el suministro de agua. En el caso del Puelche, gran parte de las muestras fueron obtenidas en escuelas y jardines de infantes donde cuentan con perforaciones cuyas profundidades alcanzan a este acuífero.

### **4.2.1 Toma, recolección y almacenamiento de las muestras**

La mayoría de las muestras se extrajeron evitando el paso por tanques y conexiones intermedias para descartar interferencias por mal estado del sistema de distribución. La recolección para el análisis bacteriológico se realizó en frascos estériles de 250 ml y previamente se efectuó una desinfección mediante el flameado de la canilla. Las muestras fueron almacenadas a 4°C en un lugar oscuro para minimizar las reacciones químicas y biológicas que puedan alterar la composición original del agua muestreada.

### **4.2.2 Análisis en laboratorio**

Las muestras recolectadas fueron incubadas durante 48 horas en estufa a 37 °C para determinar la presencia de *P. aeruginosa* en 100 ml de agua. Para seleccionar sólo el

crecimiento de esta especie bacteriana se utilizó como medio de cultivo el Agar Cetrimida<sup>28</sup> (Figura 5). Las muestras positivas se caracterizan por presentar pigmentos fluorescentes.

**Figura 5.** Colonias de *P. aeruginosa* en el Agar Cetrimida.

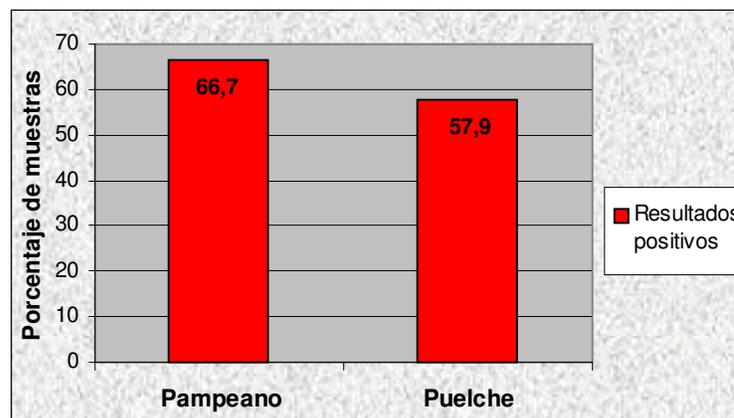


Fuente: [www.shroomery.org](http://www.shroomery.org)

### 4.3 Resultados del muestreo

Las muestras revelaron una alta presencia de *P. aeruginosa* en el agua con que se abastecen los habitantes de la cuenca Las Catonas: el 67% de las muestras obtenidas de bombas que extraen agua del acuífero Pampeano indicó presencia de la bacteria; el resultado no disminuyó significativamente en el caso de las perforaciones que extraen agua del Puelche ya que el 58% de las muestras contenían *P. aeruginosa* (Gráfico 3).

**Gráfico 3.** Presencia de *P. aeruginosa* en las muestras de agua

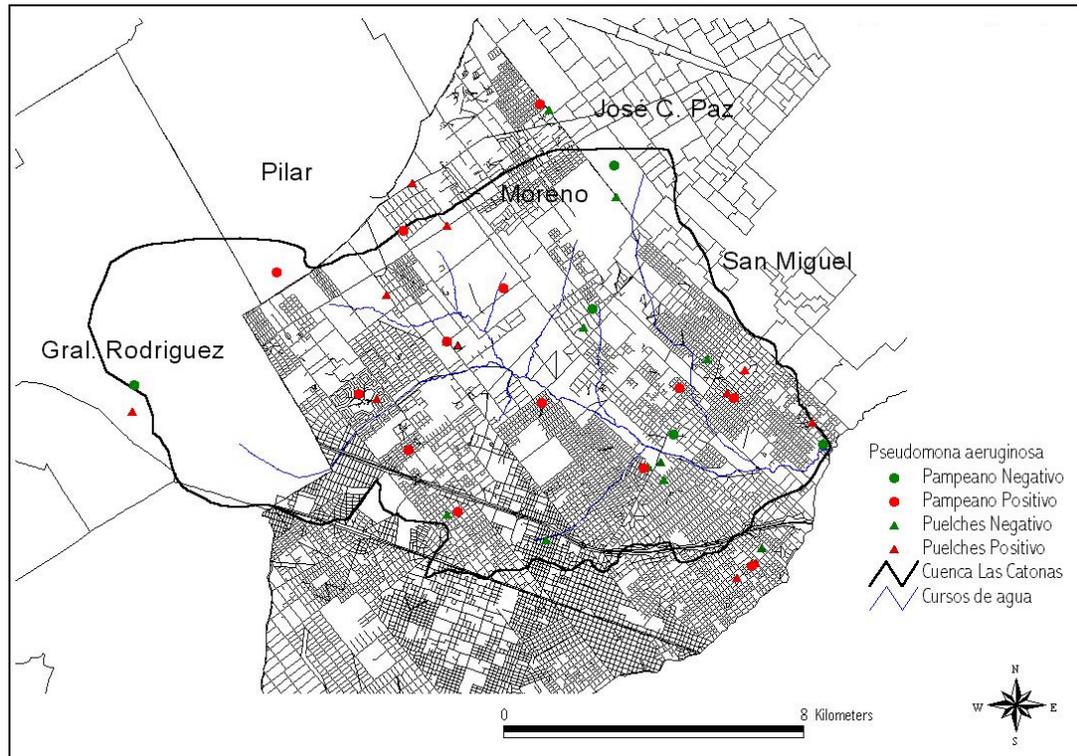


Fuente: elaboración propia en base a los resultados del muestreo.

<sup>28</sup> Sal de amonio cuaternaria que emulsiona las membranas de las bacterias excepto a la especie *P. aeruginosa* que lo resiste.

En el mapa 10 se muestra la distribución geográfica de los resultados.

**Mapa 10.** Presencia de *P. aeruginosa* en la cuenca Las Catonas



Fuente: elaboración propia en base a resultados del muestreo.

Cada vivienda tiene distintas formas de acceder al agua subterránea, ya sea con bomba motor (Foto 1) o manual (Foto 2), y algunos de los pozos presentan encamisado para impedir la filtración del agua menos profunda. En el caso de las perforaciones que captan el agua del acuífero Pampeano, la extracción se realiza desde la superficie a través de bombas manuales o a motor. En cuanto a los pozos que acceden al Puelche, las extracciones se efectúan siempre con motores pero varía el tipo de bomba ya que puede estar localizada sobre la superficie o sumergida. En general, la mayoría de las perforaciones al Puelche tienen encamisado, especialmente si se utiliza el sistema de bomba sumergida. A través del muestreo realizado no se pudo percibir ninguna relación entre las distintas formas de acceso al agua y la presencia de *P. aeruginosa* en la muestra. Incluso en las bombas sumergidas que extraen agua del Puelche (considerada como la mejor opción para extraer agua subterránea dadas las características de construcción del pozo) se detectó la presencia de la bacteria en cuestión.

**Foto 1.** Bomba motor de una escuela primaria.



**Foto 2.** Bomba manual en una vivienda.



## 5. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS Y CONCLUSIONES

A partir del alto porcentaje de muestras con presencia de la especie bacteriana *P. aeruginosa* detectado en el muestreo de la calidad del agua para consumo que se llevó a cabo en la cuenca del arroyo Las Catonas, surgen distintas cuestiones para analizar. Por un lado, es importante examinar los aspectos referentes al recurso hídrico subterráneo, ya que los resultados obtenidos plantean una serie de interrogantes sobre la calidad y el manejo del recurso. Por otro lado, frente a este fenómeno es fundamental estudiar el riesgo sanitario al que está expuesta la población.

### 5.1 Calidad y manejo del recurso hídrico subterráneo

Primeramente es importante mencionar que existen ciertas limitaciones en la metodología de muestreo empleada para determinar la calidad del agua subterránea. En todos los casos la muestra fue obtenida en superficie y, si bien se evitaba el paso por tanques, el agua recorría una cierta distancia por las cañerías hasta la canilla de extracción. Este aspecto del muestreo es relevante especialmente cuando se trata de una bacteria como *P. aeruginosa* que tiene la habilidad de formar biopelículas que le permiten adherirse eficazmente a las superficies de las tuberías y canillas.

Dada esta particularidad de la especie bacteriana en estudio no es posible afirmar que su detección en las muestras es consecuencia directa de su presencia en los acuíferos. Para confirmar este hecho debería haberse extraído la muestra directamente desde los acuíferos y asegurar que no tenga contacto con el exterior<sup>29</sup>.

Teniendo en cuenta estas limitaciones del muestreo, se plantea la incertidumbre acerca del origen de la bacteria en el agua para consumo debido a que este microorganismo tiene la capacidad de habitar tanto en las superficies de las tuberías como en el agua subterránea.

Si bien en condiciones naturales el agua subterránea contiene pocos microorganismos, la alteración de la calidad del recurso como resultado de actividades antrópicas ha incrementado el desarrollo bacteriano. En la cuenca Las Catonas, no existe cobertura de red cloacal y la eliminación de excretas en pozos ciegos podría ser una de las fuentes de contaminación de *P. aeruginosa* en los acuíferos, ya que se encuentra presente en las heces humanas. Además, estos desechos que percolan hacia los acuíferos proporcionan

---

<sup>29</sup> Esta metodología no pudo aplicarse en el muestreo efectuado debido a que implica un costo más elevado y una mayor dificultad técnica ya que es necesario realizar nuevas perforaciones o, eventualmente, desarmar las bombas de las perforaciones existentes de modo que sea posible hundir el muestreador.

los nutrientes necesarios para su desarrollo. Lo mismo podría estar generando el uso de agroquímicos provenientes de la actividad hortícola que se realiza fundamentalmente en la cuenca alta. Asimismo, existe en el área de estudio una explotación constante del recurso hídrico subterráneo, para el abastecimiento tanto de los habitantes como de las industrias, que genera un mayor flujo de agua descendente y favorece la percolación de los desechos contaminantes hacia los acuíferos.

Si se analiza la situación a una escala más amplia (la Región Metropolitana de Buenos Aires) muchos estudios revelan el deterioro de la calidad del agua subterránea, especialmente en el acuífero Pampeano. Por ello no es tan sorprendente detectar la presencia de microorganismos patógenos en el acuífero superior, pero se esperaría encontrar una diferencia en los resultados de la calidad del agua entre las muestras provenientes del Pampeano y las del Puelche; en el caso del análisis de presencia de *P. aeruginosa* en el agua realizado en la cuenca Las Catonas la diferencia no fue muy notoria. Este hecho plantea un importante interrogante sobre la calidad del recurso dado que si se comprueba el deterioro de la calidad del Puelche en el área de estudio indicaría que la principal fuente de abastecimiento de agua para consumo en la zona ya no es apta para ese uso.

El deterioro de la calidad del agua subterránea impacta también sobre la actividad industrial que utiliza este recurso en sus procesos productivos. Muchas de las industrias establecidas en la cuenca elaboran alimentos y bebidas; este tipo de productos son los más afectados si están en contacto o se elaboran con agua contaminada por *P. aeruginosa*. Además debe considerarse que es muy difícil erradicar esta especie una vez que se desarrolla en las tuberías de los establecimientos industriales<sup>30</sup>.

## **5.2 Riesgo sanitario por presencia de *P. aeruginosa* en el agua para consumo**

Dejando de lado la cuestión sobre el origen de la bacteria, ya sea que se encuentre en los acuíferos o se desarrolle en los sistemas de distribución de agua, es un hecho concreto que la especie *P. aeruginosa* esté presente en el agua que utiliza la población para consumo y uso doméstico y, por lo tanto, constituye una amenaza para la salud de los habitantes tanto por ingerirla como por estar en contacto con ella.

---

<sup>30</sup> La problemática que ocasiona la presencia de *P. aeruginosa* en el agua que utilizan los establecimientos industriales no fue objeto de estudio de este trabajo. Esta especie puede afectar la calidad del producto (alimentos y bebidas) o interferir en el proceso productivo provocando taponamiento de filtros. La dificultad para desinfectar las instalaciones se debe a que, como ya se mencionó, algunas cepas son resistentes al cloro.

A través del muestreo realizado no se encontró una relación entre la forma de acceso al agua y la presencia de la bacteria, debido a que fue detectada en muestras provenientes tanto de perforaciones al acuífero Pampeano como al Puelche, ya sea con bomba manual o motor. Esto indicaría que la presencia de *P. aeruginosa* es una amenaza que afecta a un alto porcentaje de la población establecida en la cuenca Las Catonas (cabe recordar que en más del 50% de las muestras se detectó la presencia de esta especie bacteriana), independientemente del sistema de captación de agua que utilicen. Sin embargo, como se presenta a continuación, no todos los individuos son vulnerables frente a esta amenaza.

Dado que el microorganismo en estudio es un patógeno oportunista, no todas las personas que estén en contacto o ingieran agua contaminada con esta especie están expuestas a contraer alguna infección. Sólo algunas personas son susceptibles a ser infectadas y en algunos casos puede derivar en enfermedades graves e incluso terminales.

De acuerdo con lo presentado en el apartado “Efectos de *P. aeruginosa* sobre la salud” (2.3), las personas vulnerables a ser afectadas con mayor severidad por la presencia de esta bacteria en el agua son los pacientes con fibrosis quística, personas con diabetes, enfermos de cáncer en estado de neutropenia y heridos con quemaduras severas.

Esta clara identificación del grupo con mayor vulnerabilidad frente a este patógeno constituye una ventaja, especialmente para aplicar medidas de control y prevención. Sin embargo, en el hospital provincial de Moreno no existen registros de pacientes con fibrosis quística<sup>31</sup> y por lo tanto no se establecen medidas para prevenir que los portadores de esta enfermedad estén en contacto con agua contaminada por *P. aeruginosa*. Tampoco se observó que en el sector de salud del municipio se implementen medidas para evitar que todas las personas inmunocomprometidas estén en contacto con esta especie.

La característica de *P. aeruginosa* de ser un patógeno oportunista justifica la importancia de que se incorpore como uno de los parámetros que determinan la calidad del agua para consumo humano y uso doméstico. Es fundamental que se analice la presencia de esta especie en el agua con que se abastecen los centros de salud y de esta forma disminuir el riesgo de las infecciones nosocomiales. Un empleado del sector de bromatología del hospital de Moreno manifestó que *E. coli* es el único indicador bacteriológico que analizan en las muestras de agua extraídas en los centros de salud y escuelas del distrito, y argumentó que se debe a la falta de recursos para analizar otros parámetros.

---

<sup>31</sup> Según manifestó un médico del sector de epidemiología del hospital de Moreno.

En el año 2003 se registraron en la sala de pediatría del hospital cinco casos de pacientes con infección en la sangre causada por *P. aeruginosa*, provocando la muerte de uno de los niños. No han podido detectar cuál fue la vía de contacto de la bacteria con los pacientes, y considerando que es un organismo ubicuo son muchas las posibilidades, pero es probable que haya sido por ingesta de agua o algún alimento contaminado. El hecho que no se realicen análisis rutinarios con el fin de detectar la presencia de esta bacteria en el agua que se utiliza en los centros de salud incrementa el riesgo de que se produzcan infecciones con carácter de gravedad.

Otro grupo vulnerable a las infecciones por *P. aeruginosa* son los niños, principalmente los menores de un año, debido a que coloniza el tracto gastrointestinal provocándoles diarrea. Se mencionó anteriormente que la edad es un factor que está relacionado con la posibilidad de que se produzcan infecciones por organismos patógenos. A su vez, la vulnerabilidad de las personas se incrementa cuando su dieta es insuficiente en proteínas, ya que favorece el desarrollo de los patógenos oportunistas en la microbiota intestinal. De esta forma, no sólo los menores de un año son vulnerables sino también todas las personas con problemas de nutrición.

En la cuenca Las Catonas existe una alta proporción de habitantes en condición de pobreza que los imposibilita de acceder a una alimentación con los requerimientos nutritivos básicos, fundamentalmente en el caso de la población que se encuentra en situación de extrema pobreza. Esto indica que en el área de estudio existe un gran porcentaje de habitantes, y en especial los menores de un año, que está en riesgo de sufrir diarreas causadas por *P. aeruginosa*.

En el municipio de Moreno existe una preocupación por el incremento de los casos de diarrea durante el año 2004. La especie bacteriana en estudio es uno de los microorganismos que podría estar provocando estos casos, pero existen otros que también suelen detectarse en el agua, e incluso con mayor frecuencia como es el caso de *E. coli*.

El incremento en la cantidad de población en estado de pobreza genera como consecuencia directa un aumento de la desnutrición y de la mortalidad infantil. En Argentina, durante los años 2002 y 2003, la tasa de mortalidad infantil se ha incrementado, conjuntamente con los índices de pobreza, y se estima que la mayoría de las muertes infantiles (6 de cada 10) fueron originadas por causas que se podrían haber evitado, una de ellas es la diarrea (Alerta Salta, 2004).

Si bien las causas que provocan diarrea en la población pueden ser varias, la OMS estima que cerca del 90% de los casos de enfermedades diarreicas se pueden atribuir a un abastecimiento de agua no potable, a inadecuadas condiciones de saneamiento y a una higiene deficiente (OMS, 2004). En general, todas estas condiciones están presentes

en la realidad cotidiana que deben afrontar los habitantes que se encuentran en situación de pobreza, generando en estos sectores sociales una mayor vulnerabilidad frente a las amenazas.

Como se mencionó anteriormente, en muchos casos el componente social es determinante en el desarrollo de una enfermedad. Este es uno de ellos, en el cual el riesgo sanitario por presencia de *P. aeruginosa* en el agua depende principalmente de aspectos sociales.

En estos casos en que la pobreza es un factor determinante de la enfermedad resulta complejo, e incluso se podría afirmar que pierde el sentido, analizar la vulnerabilidad social frente a una amenaza particular, debido a que son varios los fenómenos amenazantes y las condiciones que generan la vulnerabilidad y que, a su vez, están relacionados y por lo tanto deben considerarse en conjunto. La mala nutrición, las condiciones de habitabilidad, la imposibilidad de acceder a una adecuada asistencia médica y a la información, son algunas de las situaciones que provocan mayor vulnerabilidad.

Por otro lado, existen casos de personas no inmunocomprometidas pero que son vulnerables a ser infectadas por *P. aeruginosa*. Por ejemplo, las personas que se sumergen en piscinas donde el agua presenta concentraciones de esta especie bacteriana pueden contraer infecciones en el oído. Además, las personas que presenten alguna herida en la piel pueden resultar infectados al estar en contacto con agua que contiene *P. aeruginosa*, ya sea durante el uso doméstico o en piscinas. También es el caso de las personas que utilizan lentes de contacto y al higienizarlos o exponerse directamente con agua contaminada con esta bacteria pueden contraer una infección en la cornea. En estos casos, a diferencia de lo analizado por mala nutrición, el grupo más vulnerable puede pertenecer a sectores con alto poder adquisitivo, quienes no están exentos de los efectos de emplear para uso doméstico (como son los de higiene personal y recreación en piscinas) agua con presencia de *P. aeruginosa*. Cabe mencionar que se han extraído muestras en uno de los barrios privados que se encuentran en la zona y se detectó la presencia de la especie en estudio; una de las muestras analizadas provenía de la canilla que se utiliza para llenar una de las piscinas del club del barrio.

A modo de síntesis, se pueden diferenciar tres grupos de mayor o menor riesgo sanitario por presencia de *P. aeruginosa* en el agua para consumo y uso doméstico:

- *Las personas que por poseer alguna enfermedad son vulnerables a ser infectadas por este patógeno oportunista.*

Este grupo está conformado principalmente por las personas con fibrosis quística, diabetes, cáncer en estado de neutropenia o quemaduras severas. En general, todos

los pacientes que presentan graves problemas de salud, y en particular quienes han sido transplantados o tienen algún dispositivo externo, son especialmente susceptibles a las infecciones causadas por *P. aeruginosa*.

Si bien este grupo tiene la ventaja de ser acotado y fácilmente identificable, presenta el mayor riesgo frente a la presencia de *P. aeruginosa* en el agua dada la gravedad en que pueden derivar las infecciones. Asimismo, en el sector de salud del hospital de Moreno no se implementan acciones tendientes a disminuir el riesgo; por ejemplo, analizando la presencia de esta especie bacteriana en el agua con que se abastecen los centros de salud.

- *Los niños menores de un año y todas las personas que presenten problemas de nutrición.*

Debe considerarse que los bebés son vulnerables al ataque de las bacterias, pero el riesgo es aún mayor si además se encuentran en estado de desnutrición. Es complejo identificar a las personas que integran este grupo y es por ello que resulta dificultoso implementar medidas paliativas.

Los efectos que producen las infecciones causadas por *P. aeruginosa* a estos individuos presentan menor gravedad que en el caso anterior. Pero la importancia de este grupo en el área de estudio está establecida por el alto porcentaje de población que se encuentra en situación de pobreza, es decir, este grupo es considerablemente más numeroso que el anterior. Además, no debe olvidarse que la diarrea es una de las principales causas de la mortalidad infantil y que los casos de esta enfermedad registrados en la zona están aumentado.

- *Las personas que utilizan lentes de contacto o piscinas para uso recreativo.*

Las infecciones que afectan a este grupo tienen efectos más leves sobre el organismo en comparación con el primer grupo y, a su vez, es menos numeroso que el segundo. Por lo tanto, se considera que es el grupo con menor prioridad en cuanto a la recepción de políticas que tengan como fin disminuir el riesgo.

Es importante remarcar que el acceso al agua en cantidad y calidad adecuada, tanto para ingesta como para uso doméstico, es uno de los derechos más básicos del ser humano, amparado por las normas internacionales y por las constituciones nacionales. Asimismo, los organismos de derechos humanos reconocen como otro derecho esencial de toda persona el acceso a una alimentación nutritiva, a fin de que pueda desarrollar y mantener plenamente su capacidad física y mental. El Estado debe satisfacer ambos derechos como paso fundamental hacia el desarrollo de la sociedad.

Por lo tanto, al garantizarle a la población situada en la cuenca Las Catonas estos derechos humanos fundamentales, de acceso al agua potable y a una alimentación adecuada, el riesgo sanitario por presencia de *Pseudomonas aeruginosa* en el agua para consumo estudiado en este trabajo disminuiría significativamente.

## 6. RECOMENDACIONES

A continuación, como parte final de este trabajo, se exponen algunas sugerencias dirigidas principalmente a los gobiernos de los municipios que conforman la cuenca con el fin de contribuir tanto en la disminución del riesgo sanitario de la población como en la planificación y gestión del recurso hídrico subterráneo.

La especie *P. aeruginosa* es uno de los indicadores que determinan la calidad del agua. Si bien, como ya se mencionó, no se pueden realizar afirmaciones sobre el estado del recurso hídrico subterráneo dada la metodología empleada en el muestreo, los resultados obtenidos son una alerta sobre la calidad y el manejo del recurso en la cuenca.

A partir de estos resultados se recomienda realizar un estudio hidrogeológico que determine la calidad del agua subterránea, tanto en el acuífero Pampeano como en el Puelche, y la dirección del flujo subterráneo y que establezca las zonas aptas para la extracción y los caudales permitidos de extracción para evitar la sobreexplotación del recurso. Cabe destacar que estas dos últimas cuestiones se están investigando actualmente en el Área Ecología Urbana (Instituto del Conurbano - UNGS).

El recurso hídrico subterráneo es la fuente principal de abastecimiento en la cuenca para todos los usos (consumo humano, doméstico y productivo) y por ello es de vital importancia para los habitantes y sus actividades. Dado el papel fundamental que ocupa este recurso en el desarrollo de la comunidad establecida en la cuenca deben implementarse medidas de control y regulación en el uso del agua subterránea.

En cuanto al riesgo sanitario por la presencia de *P. aeruginosa* en el agua, se considera que las medidas orientadas a disminuir este riesgo tendrán características diversas según el grupo afectado. En este trabajo se diferenciaron tres grupos:

1. En el caso de las personas inmunocomprometidas, quienes están expuestos a sufrir infecciones más severas, las políticas deben plantearse principalmente en el sector de salud del municipio. Como primera medida se recomienda incorporar la detección de *P. aeruginosa* en los análisis de rutina de la calidad del agua con que se abastecen los centros de salud. En caso de que se detecte la presencia de esta especie en la muestra debería realizarse una adecuada desinfección de todo el sistema de distribución de agua y aumentar la periodicidad del muestreo y de la desinfección. Además, es importante determinar si existen casos de pacientes con fibrosis quística en la zona y garantizarles una atención particular. En el caso de los enfermos con diabetes, cáncer o quemaduras debería considerarse en el sector de salud la importancia de evitar el contacto con esta bacteria e informar a los pacientes sobre el riesgo.

2. En cuanto al grupo vulnerable como consecuencia de una mala nutrición, las soluciones a esta problemática deben plantearse de manera integrada entre distintos sectores del gobierno municipal. Reducir el riesgo de este grupo es un desafío para los municipios ya que implica disminuir los niveles de pobreza en la población. Asimismo, para alcanzar ese objetivo es fundamental garantizarle a todos los habitantes el acceso a una alimentación nutritiva, a los servicios de salud y a los servicios básicos de distribución de agua potable y saneamiento. Todas estas cuestiones deben considerarse en conjunto para disminuir los casos de enfermedades como la diarrea, dado que cualquier política que tenga como fin disminuir la cantidad de estos casos será insuficiente si es impulsada sólo por el sector de salud.
  
3. Por último, en relación con el grupo que se consideró menos prioritario en cuanto a la recepción de políticas públicas, una forma de disminuir el riesgo es generando divulgación sobre esta amenaza y sobre el riesgo a que están expuestos los habitantes. Las personas que utilizan lentes de contacto son fácilmente identificables y desde los centros médicos oftalmológicos pueden recomendarse prácticas higiénicas que disminuyan el riesgo de infecciones. En el caso de las personas que hacen uso de piscinas, deberían realizarse controles de la calidad del agua fundamentalmente en los centros recreativos de acceso público.

## ANEXO

El Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas que se efectuó en el año 2001 modificó, con respecto al censo anterior, las opciones para contestar a la pregunta ¿de dónde proviene el agua que usa para beber y cocinar?. El encuestado podía optar por algunas de las siguientes respuestas:

- **De red pública (agua corriente):** el hogar se abastece de agua por un sistema de captación, tratamiento y distribución de agua mediante una red de tuberías comunal sometida a inspección y control por las autoridades públicas. El sistema puede estar a cargo de un organismo público, cooperativa o empresa privada.
- **De perforación con bomba a motor:** el hogar se abastece de agua por un sistema de captación que consiste en la extracción del agua de las napas profundas, a través de un medio mecánico de elevación con motor.
- **De perforación con bomba manual:** el hogar se abastece de agua por un sistema de captación que consiste en la extracción del agua de las napas profundas, a través de un medio mecánico de elevación manual.
- **De pozo con bomba:** el hogar se abastece de agua por un sistema de captación que consiste en la extracción del agua del subsuelo a través de un medio mecánico de elevación (que puede ser a motor o manual).
- **De pozo sin bomba:** el hogar se abastece de agua por un sistema de captación que consiste en la extracción del agua del subsuelo en un balde o similar (sin utilizar medios mecánicos de elevación).
- **De agua de lluvia:** el hogar se abastece de agua acumulando el agua de la lluvia en un recipiente.
- **De transporte por cisterna:** el hogar se abastece del agua que provee un camión tanque, un tren aguatero, etc.
- **De río, canal, arroyo:** el hogar se abastece de agua directamente de ríos, canales, arroyos.

A continuación se presenta un análisis sobre la utilidad de estas respuestas en el caso particular de la Región Metropolitana de Buenos Aires, porque debe tenerse en cuenta que los sistemas hidrogeológicos varían según las distintas regiones del país.

Una cuestión muy relevante para los estudios que analizan la calidad del agua para consumo y el manejo del recurso hídrico subterráneo es identificar las formas de acceso al agua y la fuente de captación (acuífero Pampeano o Puelche).

En el censo realizado en 1991 era posible establecer las formas de acceso al agua ya que las opciones para responder eran: acceso por red pública, bomba motor o bomba manual. Con los cambios efectuados en el censo 2001 se supone que se intentó también identificar la fuente de captación en las viviendas con perforaciones particulares y brindar mayor información sobre este aspecto. Sin embargo, dadas las definiciones planteadas no es posible realizar esa identificación, con el agravante de que tampoco se pueden determinar claramente las formas de acceso.

En la definición de “perforación con bomba manual” se encuentra una contradicción ya que este sistema no permite extraer agua de las “napas profundas”, sólo es posible extraer agua del acuífero superior, el Pampeano.

En las siguientes opciones se considera que existe un error técnico en la definición ya que no es posible extraer “agua del subsuelo” considerando al subsuelo como la zona no saturada.

Por otro lado, es importante que las opciones sean claras tanto para el encuestador como para el encuestado. Leyendo estas posibles respuestas no es fácil distinguir la diferencia entre pozo y perforación y, menos aún, debe ser sencillo para la persona censada que no tiene acceso a las definiciones.

Dadas estas respuestas planteadas por el INDEC en el último censo a una cuestión tan fundamental como es el acceso al agua, no es posible emplear esta herramienta de suma utilidad, como es un censo de población, para determinar las formas de acceso al agua y la cantidad de habitantes que acceden al Pampeano o al Puelche.

Para el próximo censo se considera importante modificar estas opciones, plantear nuevas definiciones o incluso es conveniente mantener las respuestas del Censo 1991, donde se diferenciaban claramente las formas de acceso al agua.

## Bibliografía

- ♣ Alerta Salta. 2004. **Informe sobre la situación de los derechos humanos en Argentina**. Presentado en la *Tercera Consulta Latinoamericana sobre Defensores/as de Derechos Humanos*, San Pablo, Brasil, 25-27 de agosto.
- ♣ Auge, M. P. 1996. **Hidrogeología ambiental**. Material del segundo curso de postgrado. Cátedra de Hidrogeología. Departamento de Ciencias Geológicas. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. UBA.
- ♣ Auge, M. P., Hernández, M. y Hernández, L. 2002. **Actualización del conocimiento del acuífero semiconfinado Puelche en la provincia de Buenos Aires, Argentina**. Actas del Congreso: “*Groundwater and Human Development*”. Mar del Plata.
- ♣ Bocanegra, E. y Benavides, P. 2002. **Agua y salud para el Desarrollo Humano**. Actas del Congreso: “*Groundwater and Human Development*”. Mar del Plata.
- ♣ Bodey, G., Bolivar, R., Fainstein, V. y Jadeja, L. 1983. **Infections caused by *Pseudomonas aeruginosa***. *Reviews of Infectious diseases*. 5 (2). March-April.
- ♣ Drenkard, E. 2003. **Antimicrobial resistance of *Pseudomonas aeruginosa* biofilms**. *Microbes and Infection*. 5: 1213-1219.
- ♣ Environment Agency. 2002. **Microbiological contaminants in groundwater**. *National Groundwater and Contaminated Land Centre*. United Kingdom.
- ♣ Fritzsche, F. y Reboratti, L. 2002. **Base informativa y análisis preliminar para la realización de un diagnóstico ambiental del Partido de Moreno**. Parte 1 en *Diagnóstico ambiental preliminar de Moreno*. Catenazzi, A. y Alsina G. (coord.). Colección Investigación - Serie Informes de Investigación N° 13. Instituto del Conurbano – Instituto de Ciencias. Universidad Nacional de General Sarmiento.
- ♣ Fundación Banco de la Provincia de Buenos Aires, 2003. **Informe sobre desarrollo humano en la provincia de Buenos Aires 2003**. Ed. Fundación Banco de la Provincia de Buenos Aires.
- ♣ Hardalo, C. y Edberg, S. 1997. ***Pseudomonas aeruginosa*: assessment of risk from drinking water**. *Critical Reviews in Microbiology*. 23 (1): 47-75.

- ♣ Hardoy, J. y Satterthwaite, D. 1991. **Medio ambiente urbano y condiciones de vida en América Latina. Su impacto sobre la salud.** *Medio Ambiente y Urbanización*, N° 36. IIED-AL.
- ♣ Herrero, A. C. y Fresina, M. 2003. **Análisis de la presencia de *Escherichia coli* en la sección epiparaneana. Cuenca de Arroyo Las Catonas, Pcia. Bs. As. Argentina.** Memorias del III Congreso Argentino de Hidrogeología y I Seminario Hispano-Latinoamericano sobre Temas Actuales de la Hidrología Subterránea. Rosario, Argentina. 23-26 de septiembre. Pág. 493. Tomo III.
- ♣ Herrero, A. C., Miraglia, M. y Reboratti, L. 2003. **Detección de áreas vulnerables a inundación y de mayor riesgo para la población establecida en la cuenca del Arroyo Las Catonas, Pcia. Bs. As., Argentina.** Actas del III Congreso Latinoamericano de Manejo de Cuencas Hidrográficas, Arequipa, Perú.
- ♣ INDEC (Instituto Nacional de Estadística y Censos). **Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas, 2001.**
- ♣ Kralich, S. 1999. **Aptitud de la red de transporte urbano para la delimitación de metrópolis en expansión.** Actas del V Seminario Internacional de la RII. México.
- ♣ Legnani, P., Leoni, E., Rapuano, S., Turín, D. y Valenti, C. 1999. **Survival and growth of *Pseudomonas aeruginosa* in natural mineral water: a 5-year study.** *International Journal of Food Microbiology*. 53: 153-158.
- ♣ Lewis, W., Foster, S. y Drasar, B. 1988. **Análisis de contaminación de las aguas subterráneas por sistemas de saneamiento básico.** Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS) – Organización Panamericana de la Salud, Oficina Regional de la Organización Mundial de la Salud.
- ♣ Lyczak, J., Cannon, C. y Pier, G. 2000. **Establishment of *Pseudomonas aeruginosa* infection: lessons from a versatile opportunist.** *Microbes and Infection*. 2 (9): 1051-1060. July.
- ♣ Madigan, M., Martinko, J. y Parker, J. 1999. **Brock, Biología de los microorganismos.** Octava edición. Ed. Prentice Hall Iberia. Madrid.

- ♣ Merino, L., Navarrete Martínez, P. y Virgós Soriano, L. 1998. **Conceptos básicos de microbiología de las aguas subterráneas**. Instituto Tecnológico GeoMinero de España.
  
- ♣ Ministerio de Salud de la Provincia de Buenos Aires, 2003. **Fibrosis Quística. Una patología subdiagnosticada**.  
([www.ms.gba.gov.ar/Informes/FibrosisQuistica.htm](http://www.ms.gba.gov.ar/Informes/FibrosisQuistica.htm))
  
- ♣ Organización Mundial de la Salud. 2004. **Water, Sanitation and Hygiene Links to Health. Facts and figures**.  
([www.who.int/entity/water\\_sanitation\\_health/en/factsfigures04.pdf](http://www.who.int/entity/water_sanitation_health/en/factsfigures04.pdf))
  
- ♣ Organización Panamericana de la Salud. 1985. **Guías para la calidad del agua potable. Vol. 1. Recomendaciones**. Publicación Científica N° 481. Oficina Sanitaria Panamericana, Oficina Regional de la Organización Mundial de la Salud. Washington. Reimpresión 1988.
  
- ♣ Organización Panamericana de la Salud. 1987. **Guías para la calidad del agua potable. Vol. 2. Criterios relativos a la salud y otra información de base**. Publicación Científica N° 506. Oficina Sanitaria Panamericana, Oficina Regional de la Organización Mundial de la Salud. Washington.
  
- ♣ Rastegar Lari, A., Bahrami Honar, H. y Alaghebandan, R. 1998. ***Pseudomonas* infections in Tohid Burn Center, Iran**. *Burns*. 24: 637-641
  
- ♣ Qarah, S., Cunha, B., Dua, P. y Lessnau, K. 2003. ***Pseudomonas aeruginosa* infections**. eMedicine World Medical Library.  
(<http://www.emedicine.com/med/topic1943.htm>)
  
- ♣ Santa Cruz, J., Amato, S., Silva, A., Guarino, M., Villegas, D. y Cernadas, M. 1997. **Explotación y deterioro del Acuífero Puelches en el Área Metropolitana de la República Argentina**. Ingeniería Sanitaria y Ambiental, N° 31. Buenos Aires.
  
- ♣ Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable. **Glosario Ambiental**.  
([http://www.medioambiente.gov.ar/bases/glosario\\_ambiental/default.asp](http://www.medioambiente.gov.ar/bases/glosario_ambiental/default.asp))
  
- ♣ Shrivastava, R., Upreti, R., Jain, S., Prasad, K., Seth, P. y Chaturvedi, U. 2004. **Suboptimal chlorine treatment of drinking water leads to selection of multidrug-resistant *Pseudomonas aeruginosa***. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 58 (2): 277-283.

- ♣ Soberón, G. 2002. *Pseudomonas aeruginosa*. Capítulo 3 en *Microbios en línea* (E-book). Martínez Romero, E. y Martínez Romero, J. (Editores). Dirección General de Servicios de Cómputo Académico. Universidad Nacional Autónoma de México. (<http://biblioweb.dgsca.unam.mx/libros/microbios/Cap3/>)
  
- ♣ Stover, C., Pham, X., Erwin, A., Mizoguchi, S., Warrenner, P., Hickey, M., Brinkman, F., Hufnagle, W., Kowalik, D., Lagrou, M., Garber, R., Goltry, L., Tolentino, E., Westbrook-Wadman, S., Yuan, Y., Brody, L., Coulter, S., Folger, K., Kas, A., Larbig, K., Lim, R., Smith, K., Spencer, D., Wong, G., Wu, Z., Paulsen, I., Reizer, J., Saier, M., Hancock, R., Lory, S. y Olson, M. 2000. **Complete genome sequence of *Pseudomonas aeruginosa* PAO1, an opportunistic pathogen.** *Nature*, 406: 959-964.
  
- ♣ Strahler A. y Strahler A. 1997. **Geografía física**. Tercera edición. Ed. Omega. Barcelona.
  
- ♣ Suárez, F. Calello, T., y Lombardo, R. 2003. **La dimensión sociocultural de los problemas urbanos**. Cap. 7 en *Ecología de la Ciudad*. Di Pace, M. (dirección) y Caride, H. (editor). Ed. Prometeo - UNGS (en edición). Buenos Aires.
  
- ♣ Valiente, C. y González, J. 2002. **Calidad microbiológica del agua subterránea en el Valle Central de Costa Rica 1997-2000**. En *Manejo integrado de aguas subterráneas*. Reynolds Vargas, J. (Editora). EUNED.
  
- ♣ Wilches-Chaux, G. 1998. **Auge, caída y levantada de Felipe Pinillo, mecánico y soldador o yo voy a correr el riesgo**. Guía de LA RED para la gestión local del riesgo. Ed. LA RED. Ecuador.
  
- ♣ Zamora, A., Folabella, A., Pérez Guzzi, J., Domínguez, S. y De Luca, L. 2002. **Contaminación microbiológica en aguas de pozo. Partido Gral. Pueyrredón. Pcia. de Buenos Aires. Argentina**. Actas del Congreso: “*Groundwater and Human Development*”. Mar del Plata.