

# VULNERABILIDAD DEL ACUÍFERO PAMPEANO EN EL ÁREA DEL CONURBANO BONAERENSE Y CIUDAD DE BUENOS AIRES

Diego Gatti<sup>2</sup>, Adrián Silva Busso<sup>1</sup> y Nicolás Seoane<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Instituto Nacional del Agua

Autopista Ezeiza-Cañuelas, Empalme J.Newbery Km 1,620 Ezeiza, Bs.. As., Argentina. pntsas@ina.gov.ar

<sup>2</sup> Departamento de Ciencias. Geológicas,

Universidad Buenos Aires Pab II 1<sup>er</sup> piso, Buenos Aires, Argentina. diegatti@yahoo.com.ar

<sup>3</sup> Proyecto OEA-FICH-UNL.

Complejo Universitario El Pozo, Santa Fe, Argentina. nicoseoane@yahoo.com.ar

## RESUMEN

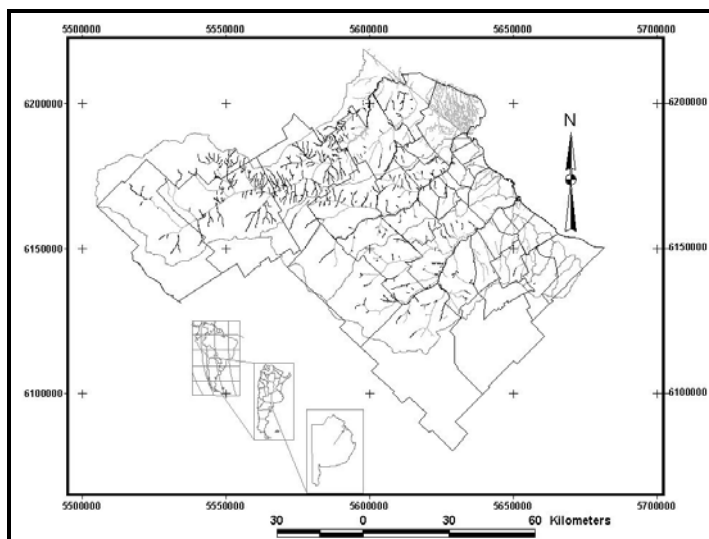
El análisis de la vulnerabilidad del acuífero libre-semilibre en los Sedimentos Pampeanos ha sido uno de los aspectos ambientales vinculados con protección de acuíferos menos estudiado en la región de Conurbano Bonaerense. Para la realización de dicho análisis se adaptaron las metodologías de (Foster et.al., 1987; Foster et.al., 2002 y Gatti, 2003), se confeccionaron mapas de suelos, de profundidad de la freática y de gradiente hidráulico los cuales fueron evaluados un índice de suelos, de espesor de zona no saturada y gradiente hidráulico, dependiendo de características particulares de cada área. Esta información se trato con procedimientos de álgebra de mapas con un software tipo SIG, obteniendo como resultado un conjunto de zonas que han permitido diferenciar grados de vulnerabilidad del acuífero. A partir de esta clasificación se diferenciaron tres áreas territoriales donde la vulnerabilidad es mínima o máxima. Todas estas zonas en áreas urbanas a suburbanas están sometidas a actividades antrópicas.

**Palabras clave:** Vulnerabilidad, Acuífero, Conurbano Bonaerense

## INTRODUCCIÓN

El área de estudio abarca las cuencas hidrográficas de los ríos Luján, Reconquista, Matanza-Riachuelo, parte del Samborombón y cuencas menores de arroyos que desembocan directamente en el Río de la Plata entre los que se destacan los arroyos Escobar, Garín, Medrano, Vega, Maldonado, Sarandi, Santo Domingo, Jiménez, Conchitas-Plátanos, Baldovinos y Pereyra. Esta área ocupa una superficie de más de 10.000 km<sup>2</sup>, cubriendo una de las regiones urbanas más extensas del mundo que comprende la Ciudad de Buenos Aires y el Conurbano Bonaerense (ver fig 1).

Fisiográficamente la región se encuentra en la denominada Pampa Ondulada que abarca cuencas hídricas que desembocan en el curso inferior del río Paraná y estuario del Plata con valores de precipitación media anual ligeramente superiores a los 1000 mm anuales y excesos hídricos cercanos a los 200 mm anuales (Santa Cruz, 1995). El agua subterránea explotable de estas áreas se encuentra alojada fundamentalmente en los Sedimentos Pampeanos y en la Formación Puelches (en las zonas más bajas puede incluir unidades formacionales post-pampeanas) con profundidades máximas del orden de los 70 metros. El acuífero freático es el que en condiciones naturales se halla más cerca de la superficie en equilibrio con la presión atmosférica y que se alimenta directa o indirectamente del agua de lluvias que se infiltran. Por debajo de la superficie freática se encuentran otros acuíferos más profundos (Acuíferos Pampeano y Puelches), que por tratarse de acuíferos multicapa de llanura están todos hidráulicamente conectados.



**Figura 1 Mapa de Ubicación**

## DISCUSIÓN Y METODOS

El objetivo de este trabajo ha sido el análisis de la vulnerabilidad del Acuífero Pampeano para el área de estudio. Para ello se han adaptado las metodologías a las regiones de llanura.

Consideramos aquí que el grado de vulnerabilidad del agua subterránea (acuíferos) está en función de las condiciones hidrogeológicas que proveen un grado de protección natural y que varía en el espacio y el tiempo. O sea que, la vulnerabilidad es una propiedad intrínseca de un sistema acuífero y que puede recibir impactos ambientales diversos (Vrba, 1991; Zaporozec, 1993).

Una de las metodologías más simples de aplicar para definir el grado de vulnerabilidad de una región es la definida por Foster et al, (1987). La misma considera el tipo de litología de los acuíferos clásticos (relacionada con la permeabilidad), el espesor de la zona no saturada y las características hidrodinámicas de la zona saturada (grado de confinamiento del acuífero).

En Argentina durante los últimos diez años, diversos autores han aplicado estos métodos para estimar la vulnerabilidad de unidades acuíferas diferentes y en diversas regiones. Es importante aclarar que la vulnerabilidad de un acuífero depende en mayor o menor medida de las variables dinámicas de los sistemas acuíferos, por lo que, las evaluaciones son validadas en el momento del estudio y bajo las condiciones hidrogeológicas propuestas por los correspondientes autores. Se han considerado en este trabajo algunos ejemplos por estar disponibles en la bibliografía hidrogeológica, sin perjuicio de la existencia de otros trabajos relacionados. Fernández y Arensburg, (1994) han realizado una evaluación de la vulnerabilidad del Acuífero Pampeano en el Suroeste del Gran Buenos Aires (Partidos de Lomas de Zamora, Lanús y Alte. Brown) aplicando el método DIOS (Foster, 1987). Presentan un mapa de vulnerabilidad y concluyen en que el espesor de la zona no saturada no es un parámetro estable y depende de las variables climáticas. El ascenso de los niveles freáticos en esta región provoca un desequilibrio del sistema (Santa Cruz J., 2000) y por consiguiente un aumento gradual de la vulnerabilidad del acuífero libre. Fresina et al.,(1995) realizan una determinación de la vulnerabilidad a una escala regional en la cuenca del Río Salado que discurre sobre las llanuras orientales santafecinas. Emplea el método DIOS (Foster, 1987) verificando un aumento de la vulnerabilidad del acuífero libre que coincide con el flujo subterráneo regional y concluyen que debe adaptarse el método considerando las características geohidrológicas, ya que si bien es de rápida aplicación, resulta poco resolutivo no siendo aplicable a la totalidad de los sistemas hídricos. El método DIOS (Foster et.al., 1987) fue ampliado y redefinido recientemente (Foster et.al., 2002) permitiendo involucrar mayor flexibilidad en la información de base necesaria para la confección de un adecuado mapa de vulnerabilidad.

Si bien diversos autores han especulado sobre sus limitaciones son pocos los estudios de validación de los métodos de vulnerabilidad. Silva Busso y Santa Cruz, (2003) realizan una evaluación de la vulnerabilidad con el fin de correlacionar la misma con la hidrogeoquímica en las áreas de llanura y en zonas de intensa urbanización concluyendo que la resolución del método DIOS (op.cit.) es escasa en la determinación de la vulnerabilidad de los acuíferos de llanura. Esto último a dado lugar en Argentina a intentos de aplicación de métodos del tipo HCS (Vrba y Zaporozec, 1994), estos son más complejos debido a que para su aplicación es necesario un mayor conocimiento de los ambientes geohidrológicos en estudio. La determinación de la vulnerabilidad del acuífero libre con el empleo de mapas temáticos ha sido aplicada por Silva Busso et al., (1999) en los partidos costeros del Gran Buenos Aires (F.Varela - Berazategui). Para Vrba et al, (1994) este grado de protección natural está dado por los siguientes atributos. Atributos de importancia primaria: Geomorfología – Suelo, Espesor de Zona No Saturada y Freatimetría – Gradiente. Atributos de importancia secundaria: Recarga – Infiltración.

## **RESULTADOS**

El desarrollo conceptual de ese método ha consistido en considerar cuales son los factores naturales que intervienen en la protección del acuífero para el área de estudio. Los factores a considerar en este estudio son: Espesor de la Zona No Saturada, Gradiente Hidráulico y Suelos.

Los métodos tradicionales de evaluación de la vulnerabilidad de acuíferos (Foster et al, 1987; Foster et al., 2002; Aller et al, 1987) consideran que la profundidad del agua, o dicho de otra forma, el espesor de la zona no saturada es uno de los factores determinantes en la vulnerabilidad de los acuíferos. Esto se debe a que a mayores profundidades de la misma, el agua que se infiltra debe recorrer una mayor distancia hasta el acuífero. De esta manera puede sufrir una mayor atenuación, o bien pueden planificarse tareas de recuperación.

EL tipo acuífero, uno de los tres componentes en la determinación del índice de vulnerabilidad DIOS, se relaciona con la posibilidad de migración horizontal de la carga contaminante. En este estudio se ha considerado más representativo de este concepto el gradiente hidráulico. Con este factor se representa el efecto que produce el gradiente hidráulico en la circulación del agua del acuífero, ya que a menor gradiente hidráulico, menor es la velocidad que adquiere el agua en la circulación, por lo tanto mayor es el tiempo que el agua permanece en el sustrato, aumentando las posibilidades de atenuación.

Los métodos DIOS y DRASTIC (Foster et al, 1987; Foster et al., 2002; Aller et al, 1987) consideran para la determinación de la vulnerabilidad la litología como un factor determinante además de otros factores concurrentes y subordinados como la los suelos, la permeabilidad, aspectos topográficos y zonas de recarga y descarga.

En el área de estudio se ha considerado que el suelo cumple una función muy importante en el atenuamiento y es crítico para cualquier evaluación de vulnerabilidad del agua subterránea a la difusión de contaminantes (Vurba y Zaporozec, 1994; Silva Busso y Olivares, 1999; Gatti, 2003). Su principal importancia radica en su función retardadora y degradante de los contaminantes. En este estudio los factores propuestos por el método DRASTIC no fueron considerados ya que se estiman menos representativos de la vulnerabilidad en el área de estudio o no generan variaciones importantes de los índices e vulnerabilidad.

El mapa de vulnerabilidad se realizó mediante la implementación y utilización de un SIG. Para esto se debieron realizar en primera instancia los mapas de Unidades Edáficas, Espesor de la Zona No Saturada y de Gradiente Hidráulico. Posteriormente en estos mapas se le asignaron a cada unidad los índices correspondientes y finalmente se adicionaron los valores de los tres índices en cada punto del área de estudio, obteniendo para cada punto un índice de vulnerabilidad, dando como resultado el mapa final de Vulnerabilidad del acuífero Pampeano en el área del Conurbano Bonaerense y Ciudad de Buenos Aires.

### **Unidades edáficas del conurbano bonaerense**

En el presente estudio se ha confeccionado una cartografía edafológica con el apoyo de el Mapa de suelos de la provincia de Buenos Aires (INTA, 1989), el mapa topográfico del Mapa base de este estudio, Imágenes Satelitales LANDSAT TM de la Espacio carta Aérea Metropolitana del área metropolitana (DPG, 2002). Además se ha realizado la confección de unidades cartográficas edafológicas sobre la base de los trabajos y publicaciones antes citados. Desde el punto de vista geomorfológico se han agrupado unidades cartográficas que contienen diversas asociaciones, consociaciones y complejos edafológicos. Las mismas se detallan a partir de las siguientes unidades Geomorfológicas: Suelos de la Planicie Ondulada, Suelos de Planicie de Escurrimiento, Suelos de las Planicies de aluvial, Suelos de Planicie de Inundación y Mareas, Suelos del Delta.

La cartografía presentada (Figura 2) debe considerarse como una inferencia de los suelos naturales de la región del conurbano Bonaerense que en la actualidad han sido profundamente afectados por la urbanización de la región conservando sus características en sitios y áreas muy específicas y reducidas con respecto al área total de la región. A pesar de ello, esta cartografía constituye una primera aproximación y debe considerarse como preliminar y sujeta a modificaciones futuras. Para la determinación del factor suelo en la vulnerabilidad, se consideraron principalmente 3 premisas que aportan los suelos para la protección del agua subterránea:

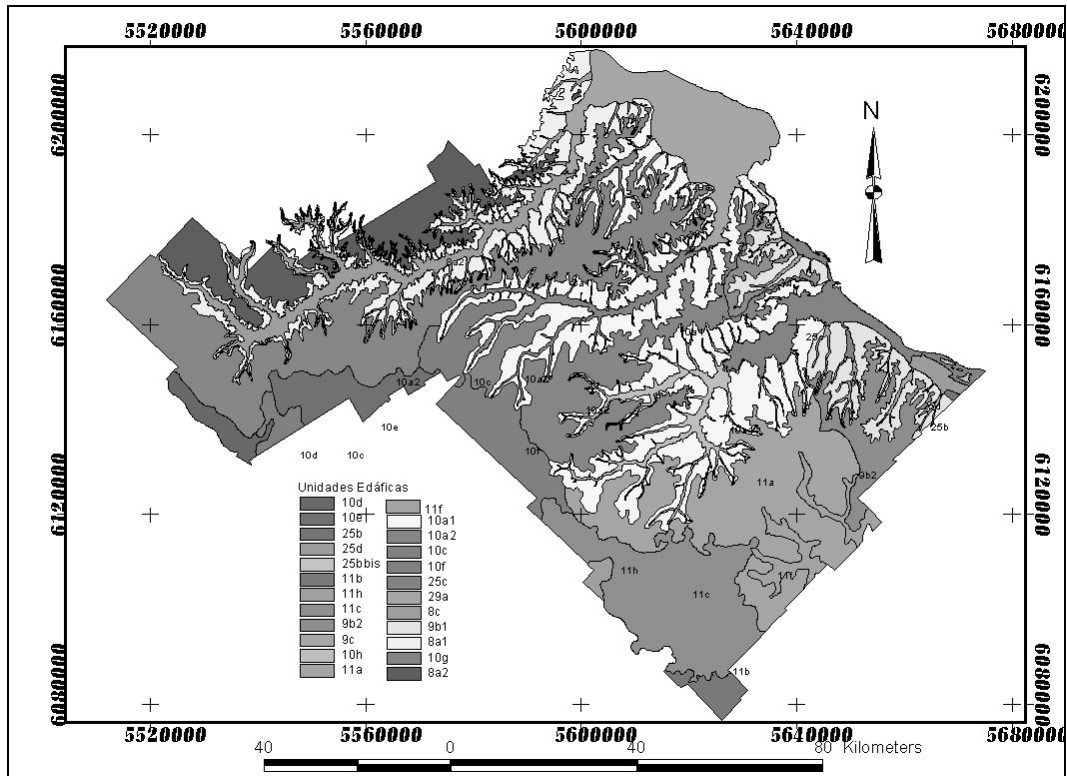


Figura 2. Mapa de unidades edafológicas

- ✓ *Dificultad que presentan los suelos a la infiltración:* En este concepto se involucran las propiedades físico-mecánicas de los suelos cuyos horizontes no permiten una libre circulación del agua para la infiltración. También se considera la función que cumple la concentración del Na de intercambio y su relación con la dispersión de las arcillas, disminuyendo la permeabilidad.
- ✓ *Capacidad de los suelos de retener contaminantes:* Este concepto resalta propiedades como la capacidad de intercambio catiónico.
- ✓ *Posibilidad de los componentes bióticos del suelo de degradar contaminantes.* Este concepto se relaciona con el porcentaje de materia orgánica, que consideraremos un indicativo de la actividad biológica que existe en el suelo.

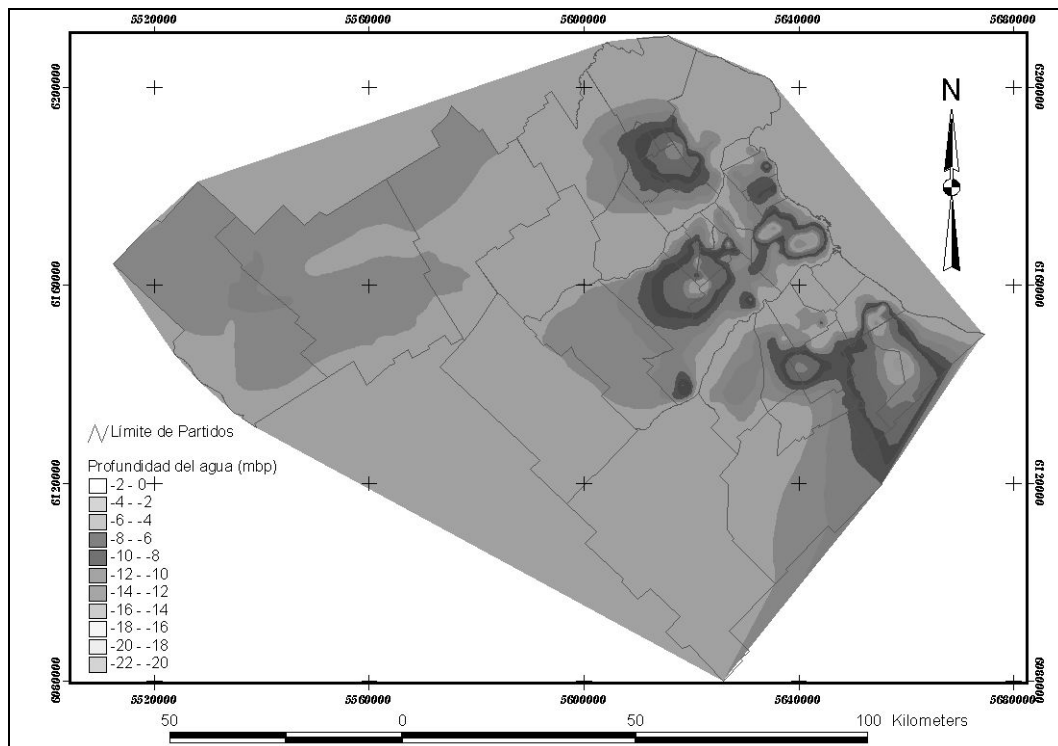
Con estas tres premisas se calcula un índice de protección suelos (IS) cuyo valor se determina en cada suelo y toma valores entre 0 y 10, dependiendo de la protección que ofrezca cada suelo a la contaminación. El cálculo del índice de protección suelo (IS) se realiza a partir de la relación de la permeabilidad de suelos, la capacidad de intercambio catiónico y de materia orgánica (Gatti, 2003).

### **Profundidad de la superficie freática o espesor de la zona no saturada**

En la mayor parte del área de estudio se observa que la superficie freática se encuentra a menos de 2 m de profundidad. Esta situación verificable en las zonas rurales, suburbanas y en urbanas se encuentra muy cerca de la superficie en las proximidades de los principales cursos de agua, como el Riachuelo-Matanza y el Reconquista. Estas áreas son las zonas topográficamente más bajas. No obstante, hacia la zona Noroeste del área de estudio se observa una leve profundización natural de la superficie freática, encontrándose esta a entre 2 y 4 m de profundidad, y en algunos casos, hasta 6 m de profundidad.

En algunas zonas urbanas aún se encuentran conos de depresión de la superficie freática debido a la extracción de agua subterránea del recurso hídrico subterráneo. Los principales conos, aún verificables, se encuentran restringidamente en la Ciudad de Buenos Aires, Quilmes – Berazategui - Florencio Varela, Almirante Brown, La Matanza – Morón - Merlo y Malvinas Argentinas- Sur de Escobar - Oeste de Tigre. Hacia estos conos de depresión se observa un paulatino aumento de la profundidad de la superficie freática, hasta alcanzar en algunos casos más de 20 metros.

Sobre la base de lo expuesto, se realizó un mapa de espesor de zonas no saturadas (Figura 3) donde se asignaron valores del Índice de protección de la Zona No Saturada (IZNS) de 1 a 10, dependiendo del espesor de la Zona No Saturada considerando sucesivamente incrementos de 2 metros de espesor.



**Figura 3. Mapa de profundidad de agua o ZNS**

## Gradiente hidráulico subterráneo

El gradiente hidráulico subterráneo ha sido calculado a partir del mapa freaticométrico de la región, actualizado al año 2004. En el mapa de gradientes (fig 4) se observa que las áreas que han sido afectadas en menor medida por actividades humanas, presentan gradientes hidráulicos muy bajos (valores menores a  $5 \times 10^{-4}$ ).

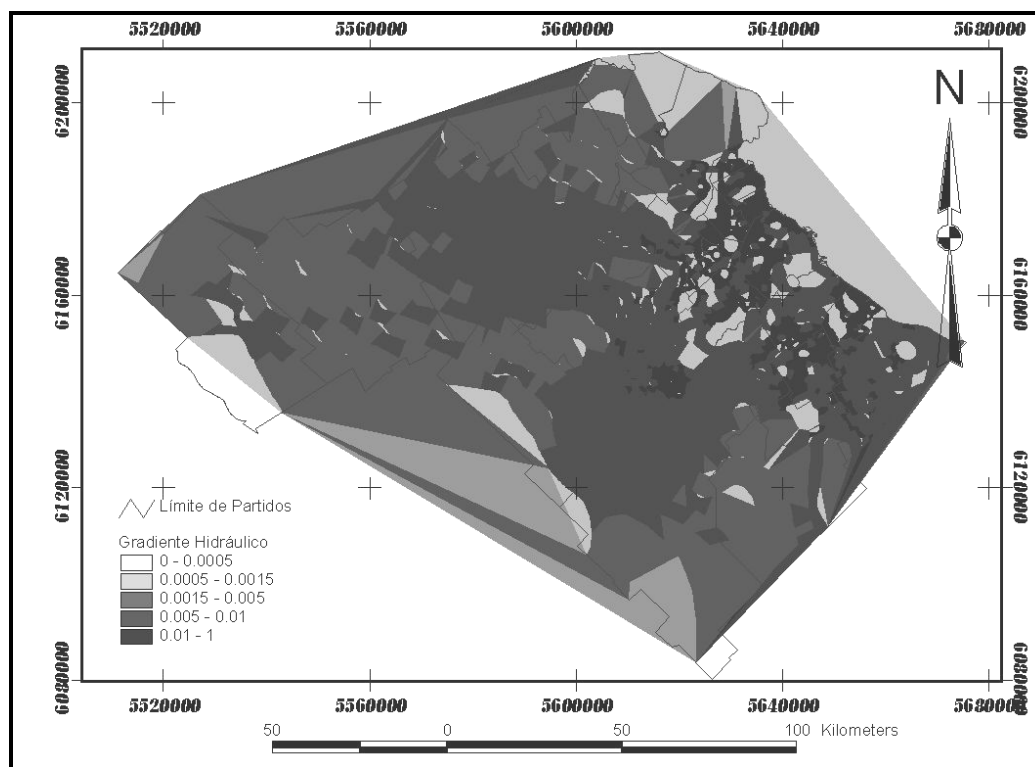


Figura 4. Mapa de gradiente hidráulico

En áreas suburbanas, en sectores cercanos a los Ríos Riachuelo y Reconquista, y en la mayor parte de los partidos de Berazategui, Florencio Varela, Ezeiza, Esteban Echeverría, Merlo y Moreno, el gradiente hidráulico presenta un leve aumento, alcanzando valores de  $1,5 \times 10^{-3}$ . En áreas urbanas, el gradiente aumenta hasta alcanzar valores de  $5 \times 10^{-3}$ , y en las zonas influidas por los conos de depresión, estos valores se incrementan aún más. Sobre la base de lo expuesto se asignaron valores del Índice de protección del Gradiente (IG) de 1 a 10, dependiendo del gradiente hidráulico del acuífero según:

- Para gradientes menores a  $5 \times 10^{-4}$ , se le asignaron valores IG de 1.
- Para gradientes de  $5 \times 10^{-4}$  a  $1,5 \times 10^{-3}$ , se le asignaron valores IG de 3.
- Para gradientes de  $1,5 \times 10^{-3}$  a  $5 \times 10^{-3}$ , se le asignaron valores IG de 6.
- Para gradientes mayores a  $5 \times 10^{-3}$ , se le asignaron valores IG de 10.

## **Vulnerabilidad del acuífero freático**

Se confeccionó un mapa de vulnerabilidad del acuífero Pampeano (Figura 5) sobre la base de los 30 intervalos obtenidos de la adición de los tres índices (*IZNS*, *IS* y *IG*) que conforman el índice de vulnerabilidad (*IV*). La relación entre el grado de vulnerabilidad y el índice de vulnerabilidad es inversa, es decir, a mayor índice *IV*, menor grado de vulnerabilidad y viceversa. De esta manera se dividió al mapa en cinco grados de vulnerabilidad, dependiendo del índice *IV* de vulnerabilidad que presente en cada zona. Finalmente, el Índice de Vulnerabilidad (*IV*), a partir del cual se realiza el mapa de vulnerabilidad (Figura 5), se compone de la sumatoria de los 3 Índices desarrollados.

$$(1) IV = IS + IZNS + IG$$

En esta sencilla expresión (1) calculada a partir del álgebra de mapas *IV* es el Índice de Vulnerabilidad, *IS* es el Índice de Suelos, *IZNS* es el Índice de Zona No Saturada y *IG* es el Índice de Gradiente Hidráulico. Se han clasificado los intervalos presentados en la tabla 1 sobre la base de las distribuciones modales. Los intervalos de clase son iguales y se han tomado así sobre la base de la distribución normal simétrica. Los rangos de intensidad de los índices han sido establecidos por Foster et-al, (2002).

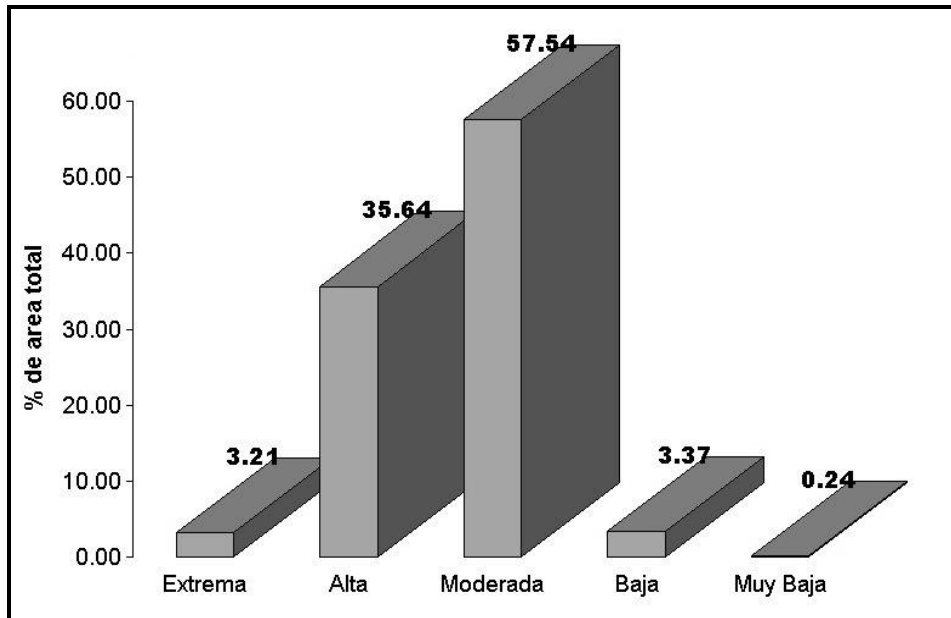
**Tabla 1. Clasificación de la distribución espacial de la vulnerabilidad**

Grado de Vulnerabilidad	Índice IV
Extrema	Hasta 8,5 (con un mínimo de 4)
Alto	de 8,5 a 13
Medio	de 13 a 17,3
Bajo	de 17,3 a 21,75
Muy bajo	Mayor a 21,75 (con un máximo de 26,2)

La figura 5 muestra los intervalos de clase y la distribución de los rangos de intensidad de los índices de vulnerabilidad en función del porcentaje del área involucrada en el conurbano bonaerense. La vulnerabilidad moderada comprende la mayor superficie seguido por las áreas de vulnerabilidad alta. Ambas corresponden al 93.18% de la superficie total estudiada, por lo que puede considerarse regionalmente que la vulnerabilidad es de moderada -alta.

En el mapa de vulnerabilidad (Figura 6) se pueden observar la distribución de cinco zonas principales que presentan un muy alto grado de vulnerabilidad del acuífero freático. A ambas márgenes del río Reconquista, ocupando los partidos de San Miguel y Tigre (margen Norte), San Fernando, San Isidro, San Martín, Tres de Febrero, Hurlingham e Ituzaingó.



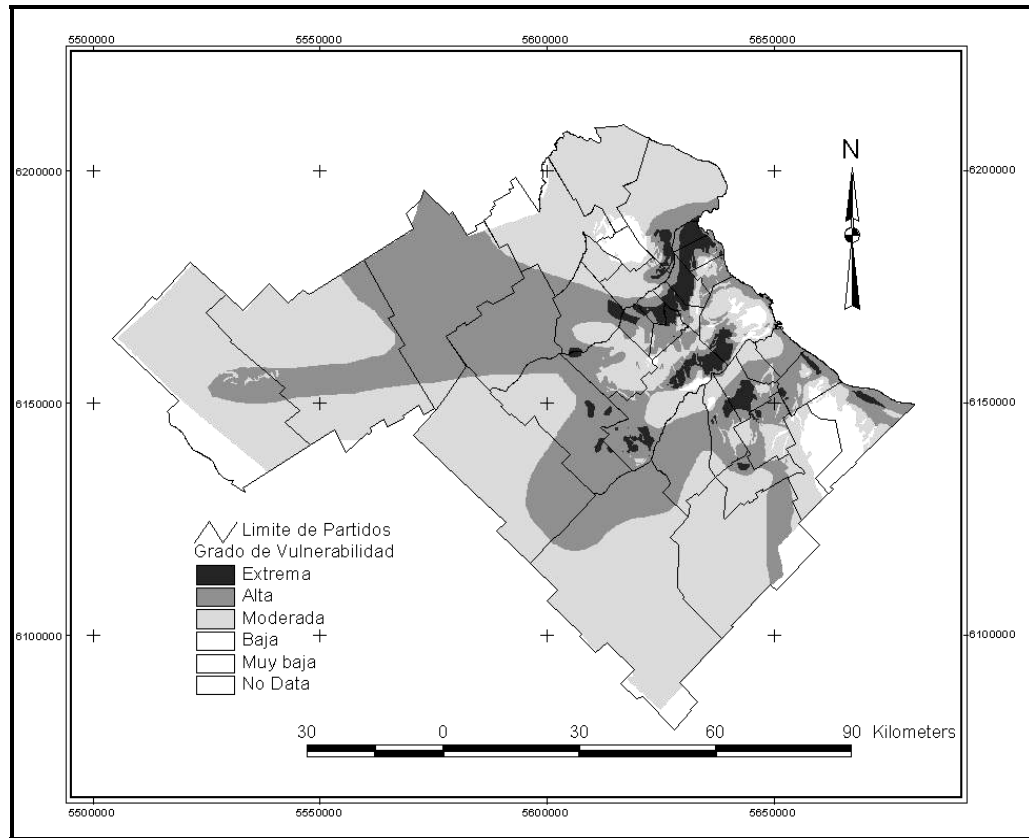


**Figura 5. Distribución de la vulnerabilidad por áreas**

Esta zona se caracteriza por tener suelos con bajo índice de suelos (IS de 2 a 3), un alto gradiente hidráulico (mayor a  $5 \times 10^{-3}$ ) y profundidades de la superficie freática no mayores a los 4 m. La zona sur de la Ciudad de Buenos Aires y Noreste del partido de La Matanza presenta suelos con bajo índice de suelos (IS de 2 a 3,3), un gradiente medio a alto (entre  $1,5 \times 10^{-3}$  y  $5 \times 10^{-3}$  o mayor) y la profundidad de la superficie freática no alcanza los 6 m.

El sur del partido de La Matanza y este del partido de Marcos Paz se encuentran suelos con bajo índice de suelos (IS de 2 a 3,3), un gradiente hidráulico medio ( $5 \times 10^{-4}$  a  $5 \times 10^{-3}$ ) y la superficie freática se encuentra a entre 2 y 6 m de profundidad. Finalmente el partido de Lomas de Zamora y este del partido de Esteban Echeverría que se caracteriza por presentar suelos de bajo índice de suelos (IS de 2 a 3,1), un gradiente hidráulico medio a alto (mayor  $1,5 \times 10^{-3}$ ) y la profundidad de la superficie freática no supera los 4m. Finalmente la región litoral de los partidos de Quilmes y Berazategui donde se observan suelos con índices muy bajos a altos (IS de 0,7 a 5,7), el gradiente hidráulico medio a alto (mayor  $1,5 \times 10^{-3}$ ) y la superficie freática se encuentra a una profundidad menor a los 2 m.

Existen tres zonas que presentan un bajo a muy bajo grado de vulnerabilidad la primera en Berazategui y Florencio Varela y presenta suelos con índices altos a muy altos (IS de 5,2 a 8,2), coincide con el cono de depresión de Berazategui, por lo tanto presenta grandes espesores de la zona no saturada (hasta 20m).



**Figura 6. Mapa de vulnerabilidad**

El gradiente hidráulico es medio ( $5 \times 10^{-4}$  a  $5 \times 10^{-3}$ ). La segunda en la Ciudad de Buenos Aires que se caracteriza por presentar suelos con índices altos a muy altos (IS de 6,1 a 8,2), coincide con el cono de depresión de la Ciudad de Buenos Aires, alcanzando la superficie freática profundidades mayores a los 20 m, y el gradiente hidráulico es medio ( $5 \times 10^{-4}$  a  $5 \times 10^{-3}$ ). La tercera en el partido de Malvinas Argentinas, Sur de Escobar y Oeste de Tigre donde se encuentran suelos con índices bajos (IS de 2 a 3,3), coincide con el cono de depresión de Malvinas Argentinas, Sur de Escobar y Oeste de Tigre, con profundidades de la superficie freática de hasta 18 m de profundidad, y un gradiente hidráulico medio a bajo (menor a  $5 \times 10^{-3}$ ). Las zonas de vulnerabilidad intermedia son más difusas y corresponderían al resto del área, de características en general rurales a suburbanas, presenta valores intermedios de vulnerabilidad, con índices IV de 8,5 a 17,3. Esta zona comprende la totalidad de los partidos de Suipacha, Mercedes, Pilar, José C. Paz, Gral. Rodríguez, Merlo, Gral. Las Heras, Cañuelas, San Vicente y Ezeiza, incluyendo también una buena parte de los partidos de Escobar, Tigre, Marcos Paz, Moreno, Esteban Echeverría y Pte. Perón entre otros.

## CONCLUSIONES

El método propuesto, a partir de procesos de álgebra de mapas temáticos en un SIG, permite determinar una distribución de la vulnerabilidad con mayor posibilidad de resolución que los métodos propuestos en los estudios de diversos autores previos (op.cit.). Particularmente, Silva Busso y Santa Cruz, (2003) han propuesto que en las áreas metropolitanas la aplicación de la metodología DIOS (Foster et al., 1987) para determinar la vulnerabilidad en el área de estudio no ha permitido una adecuada resolución. Si bien esta define valores bajos de vulnerabilidad para la toda región, sobre la base de los resultados de este estudio creemos que el acuífero semilibre es muy

vulnerable y que existen sin embargo áreas de riesgo y peligrosidad bien definidas que no parecen encontrar relación con la evaluación de la vulnerabilidad aplicando el método DIOS (op.cit.).

Se concluye así que, independientemente del método elegido o propuesto para evaluar la vulnerabilidad en una región, es importante seleccionar el conjunto de mapas que temáticos adecuados para representar los conceptos relevantes de la misma que son la movilidad horizontal, movilidad vertical y la posibilidad de retención de una supuesta carga contaminante en una determinada región sobre la base de sus características naturales. La metodología para la confección de los mapas de vulnerabilidad es un producto cartográfico de otros mapas temáticos y en la región de estudio presenta índices de vulnerabilidad variables que se distribuyen en diferentes zonas con características particulares.

Debe considerarse que la zona de estudio presenta un intenso y desordenado desarrollo urbanístico e industrial e inclusive agropecuario a lo cual se une un notable déficit de equipamiento sanitario para el tratamiento de efluentes urbanos e industriales, provocando la aparición de sectores donde las aguas subterráneas utilizables se ven afectadas en su calidad natural. No obstante, presentan variaciones a grandes rasgos relacionadas con las concentraciones urbanas e industriales.

Aunque el índice de vulnerabilidad es útil como base para la planificación urbana se ha aplicado aquí con el objetivo de proponer una metodología para el área metropolitana. Si bien, a priori existiría correspondencia entre las áreas de elevado riesgo y peligrosidad serán necesarios estudios más específicos de riesgo de contaminación del recurso agua subterránea para determinar el origen de las trazas contaminantes y su asociación con los procesos. Por otro lado, las diferentes actividades agrícolas, industriales, de urbanismo así como la falta de saneamiento adecuado, determinan la diversidad de los problemas de contaminación de los acuíferos que conjuntamente con una escasa planificación urbana determino históricamente un alto riesgo de contaminación del recurso subterráneo, en la actualidad verificable en las áreas de peligrosidad definidas. Este modelo es una primera aproximación a la vulnerabilidad de la región y precisara en futuros estudios de una validación de estas zonas de diferente vulnerabilidad sobre la base de esta metodología cartográfica propuesta con áreas del acuífero libre contaminadas.

## BIBLIOGRAFÍA

- Aller, L., Bennett, T., Lehr, J. H., Petty, R. J., Hackett, G.,** (1987). “*DRASTIC: A standardized system for evaluating groundwater pollution potential using hydrogeologic settings.*” Environmental Protection Agency Report 600/2-87-035.
- Fernández A. I. Arensburg,** (1994). “*Grados de Vulnerabilidad del Sistema Acuífero del Gran Buenos Aires. Criterios para su Determinación*”. Actas del II Congreso Latinoamericano de Hidología Subterránea, ALHSUD, Santiago de Chile, Chile. Pag:17-30.
- Foster, S. S. D.,** (1987). “*Fundamental concepts in aquifer vulnerability pollution risk and protection strategy*”. Proceeding of International Conference: Vulnerability of Soil and Groundwater to Pollutants. Noordwijk, The Netherlands.
- Foster S., Hirata R., Gomes D., D’elía M., París M.,** (2002). “*Groundwaer Quality Potection a gide for water utilities, micipal authoritis, and environment agencies.*” WHO-PAHO-CEPIS&UNESCO-ROSTLAC-PHI and GW.MATE The Word Bank, Washintong D.C.
- Fresina M., M. Forzinetti Y A. Silva Busso,** (1995). “*Evaluación Cualitativa de la Vulnerabilidad del Acuífero Libre en el Area Hidrogeológica del Río Salado, Prov. de Santa Fe*”. Revista de la AZAGAI-IAEG, Vol. IX pag: 214-224, Buenos Aires, Argentina.

- Gatti D.**, (2003). "*Elementos Hidroestratigráficos para la Protección de Acuíferos en el área del conurbano Bonaerense y Ciudad de Buenos Aires*". Trabajo final de Beca. Instituto Nacional del Agua, Buenos Aires, Argentina (Inédito).
- Santa Cruz J. N.**, (1995). "*Tipología General de la Contaminación de las Aguas Subterráneas en el Conurbano Bonaerense*". Revista Fundación Museo de La Plata, Vol. 1- N° 5, pp.68-71, Buenos Aires,
- Santa Cruz J. N.**, (2000). "*Environmental Management of the Water Resources and Application of Geosciences in Argentine Republic*". 31st International Geological Congress, General Symposia, CPRM, Río de Janeiro Brasil. Abstracts Volume in CD HTM2028.
- Silva A., Olivares O. Y Fresina M.**, (1999). "*Afectación del Acuífero Freático por Uso del Suelo en un Area del Conurbano Bonaerense, Prov. Buenos Aires, Argentina*". Revista Académica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Yucatán, México. Vol: 3 N°1, pag 32-45.
- Silva Busso A. Y Santa Cruz J. N.**, (2003). "*Hidroquímica, Contaminación y Vulnerabilidad de las Aguas Subterráneas en el Partido de Escobar, Buenos Aires, Argentina*." III Congreso Argentino de Hidrogeología y I Seminario Hispano-Latinoamericano sobre temas Actuales de la Hidrología Subterránea. Rosario, Santa Fe, Argentina Actas Tomo 2 pg: 353-362
- Vrba J.**, (1991). "*Mapping of groundwater vulnerability*". Intl. Asoc. Of Hydrogeologists, Ground Water Protection Comisión, an unpublished working pater for meeting in Tamp, FL, USA, 35p.
- Vrba J., Zaprozec, A.** (1994). "*Guidebook on maping groundwater vulnerability*". International Association of Hydrogeologist-International Contributions to Hydrogeology 16.
- Zaprozec A.**, (1993). "*Ground water vulnerability mapping practices in the Unites States*". Wis. Geological and Natural History Survey (open file report).