

## DELIMITACIÓN DE PERÍMETROS DE PROTECCIÓN DE POZOS EN EL ACUÍFERO PATIÑO MEDIANTE EL MÉTODO WYSSLING. ESTUDIO DE CASO: MICROCUENCA DEL ARROYO PAI ÑU, DISTRITO DE ÑEMBY, DEPARTAMENTO CENTRAL, PARAGUAY

---

*María Mercedes Arias Amarilla*

Geóloga egresada de la Facultad de Ciencias  
Exactas y Naturales - UNA

Profesora Adjunta de la Facultad de Ciencias  
Exactas y Naturales - UNA

All content in this magazine is licensed under a Creative Commons Attribution License. Attribution-Non-Commercial-Non-Derivatives 4.0 International (CC BY-NC-ND 4.0).



**Resumen:** La creciente utilización del agua subterránea como fuente de agua potable en Paraguay requiere poner énfasis en la protección de los acuíferos. Los Perímetros de Protección de Pozos (PPP), constituyen una importante herramienta dirigida a proteger la calidad del agua subterránea, delimitando alrededor de las captaciones, zonas donde se restringen o prohíben actividades que pudieran contaminar la captación. Este estudio de caso determina la factibilidad de aplicación del método Wyssling para la delimitación de PPP en la microcuenca del arroyo Pai Ñu, distrito de Ñemby, departamento Central del Paraguay. El método Wyssling presenta ventajas como: bajo costo, facilidad de aplicación y nivel de información relativamente accesible. Estas ventajas resultan interesantes para nuestro país, pues las informaciones sobre los acuíferos son insuficientes para la aplicación de otros métodos más exactos. Los resultados obtenidos permiten considerar satisfactoria la aplicación del método, y se recomienda su utilización para otras zonas del acuífero Patiño.

**Palabras-clave:** agua subterránea, acuífero Patiño, calidad del agua, Perímetros de Protección de Pozos, Método Wyssling.

## INTRODUCCIÓN

El agua, además de ser un elemento vital para los seres vivos, es un factor decisivo en la generación de riquezas y el desarrollo de los países, ya que se encuentra involucrada en todas las actividades productivas. En el departamento Central existe un acelerado desarrollo socioeconómico y poblacional. La zona se abastece de agua mediante captaciones realizadas en el acuífero Patiño. Sin embargo, pese a la importancia que posee, se han detectado en el acuífero, importantes niveles de contaminación, principalmente bacteriológica, que repercuten sobre la salud y el bienestar de las personas, y generan

importantes consecuencias económicas, sociales y ambientales.

La finalidad de la implantación de Perímetros de Protección de Pozos (PPP) es preservar la calidad del agua, delimitando alrededor de las los pozos de abastecimiento zonas de protección donde no deberían implantarse actividades potencialmente contaminantes.

La delimitación de los PPP puede realizarse mediante diferentes métodos, sean gráficos, analíticos o numéricos, cada uno de los cuales presentan características propias en cuanto a exactitud, nivel de información requerido, costo y facilidad de aplicación. Los métodos analíticos, entre los que se encuentra el Método Wyssling, aunque son menos exactos con respecto a los numéricos, presentan ventajas importantes como bajo costo, facilidad de aplicación y nivel de información relativamente accesible.

El presente trabajo tiene como objetivo determinar la factibilidad de la aplicación del Método de Wyssling para delimitar perímetros de protección de la calidad del agua en pozos de abastecimiento en el Acuífero Patiño. La zona de estudio corresponde a la microcuenca del Arroyo Pai Ñu, situado en el distrito de Ñemby, departamento Central, Paraguay.

En los alrededores de la microcuenca se desarrolla una intensa actividad económica y se hallan numerosos emplazamientos de industrias, comercios y otras actividades que constituyen una amenaza a la calidad del agua subterránea de la zona. Los perímetros de protección de pozos constituyen una herramienta preventiva que puede contribuir significativamente a la gestión del acuífero, regulando el funcionamiento de ciertas actividades potencialmente contaminantes de la zona, considerando la total dependencia del acuífero Patiño como fuente de abastecimiento de agua.

Las hipótesis de trabajo son:

H<sub>0</sub>: No es aplicable el Método Wyssling en la determinación de perímetros de protección de pozos en la microcuenca del arroyo Pai Ñu, teniendo en cuenta las características hidrogeológicas del acuífero y el nivel de información disponible sobre el mismo.

H<sub>a</sub>: Es aplicable el Método Wyssling en la determinación de perímetros de protección de pozos en la microcuenca del arroyo Pai Ñu, teniendo en cuenta las características hidrogeológicas del acuífero y el nivel de información disponible sobre el mismo.

## **CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.**

**Localización:** El área de estudio corresponde a la microcuenca del arroyo Pai Ñu, afluente del arroyo Ñemby. Está localizado en el distrito de Ñemby entre las longitudes 57°30'35" y 57°34'13" y las latitudes 25°20'47" y 25°23'52" (Figura 1). Su extensión aproximada es de 10,34 Km<sup>2</sup> y se caracteriza por relieves suaves cuyas alturas varían entre 100 y 160 msnm. Es un área densamente poblada, con abundantes zonas verdes, caminos empedrados y de tierra. La zona es destinada principalmente a viviendas y unas pocas industrias y cuenta con servicios de luz, agua y teléfono.

**Hidrogeología:** La microcuenca del arroyo Pai Ñu se encuentra situada sobre el acuífero Patiño, caracterizado como poroso, de extensión restringida, en el cual predominan condiciones hidráulicas libres, aunque pueden observarse sitios con condiciones de semi-confinamiento y hasta de surgencia. (Texto Explicativo del Mapa Hidrogeológico del Paraguay, 1986).

Mediante la perforación de un pozo exploratorio, realizado en la cuenca de los arroyos Ñemby y Mbocayaty (en las inmediaciones del área de estudio), se ha podido determinar para la microcuenca, una litología similar a las de los pozos perforados en los alrededores, característica de la formación

Patiño, donde predomina un material granular arenoso a gravoso, de tamaño grueso con algunos cantos, y ocasionalmente limos y arcillas en cantidades muy bajas.

Dependiendo de la zona y la profundidad, se observan cambios en la litología, de areniscas masivas a friables; también se observa variación en el contenido de material fino. (Molano, 2001a).

El acuífero no es homogéneo, en varios sitios se puede considerar como un sistema multicapa de 2 a 4 capas. Las capas superiores se comportan como libres a semilibres y la capa inferior fundamentalmente de tipo semiconfinado, aunque debido a la baja resistividad hidráulica de los acuitardos, para tiempos largos y a escala regional, tiene el comportamiento de un sistema acuífero libre (Molano, 2001b). En la Figura 2 se observa el patrón del flujo que sigue el agua subterránea en la zona de estudio, en el cual se destaca el flujo del agua desde las zonas altas, que corresponden a las áreas de recarga, hacia los cauces y zonas bajas, que son las áreas de descarga.

**Fuentes de contaminación:** Se identificaron en la zona, fuentes potenciales de contaminación difusa debido a la generación de aguas servidas, además de gran número de fuentes contaminación puntual (Molano, 2001d).

**Sistema de abastecimiento de agua potable:** La población de la zona se abastece de agua por medio de captaciones (pozos verticales profundos) realizados en el acuífero. El agua captada es distribuida a los usuarios a través de conexiones domiciliarias. El Servicio Nacional de Saneamiento Ambiental (SENASA) es el encargado de proveer este servicio junto con las Juntas de Saneamiento.

## **METODOLOGÍA**

Se aplicó el Método Wyssling a los siguientes pozos de abastecimiento de agua en

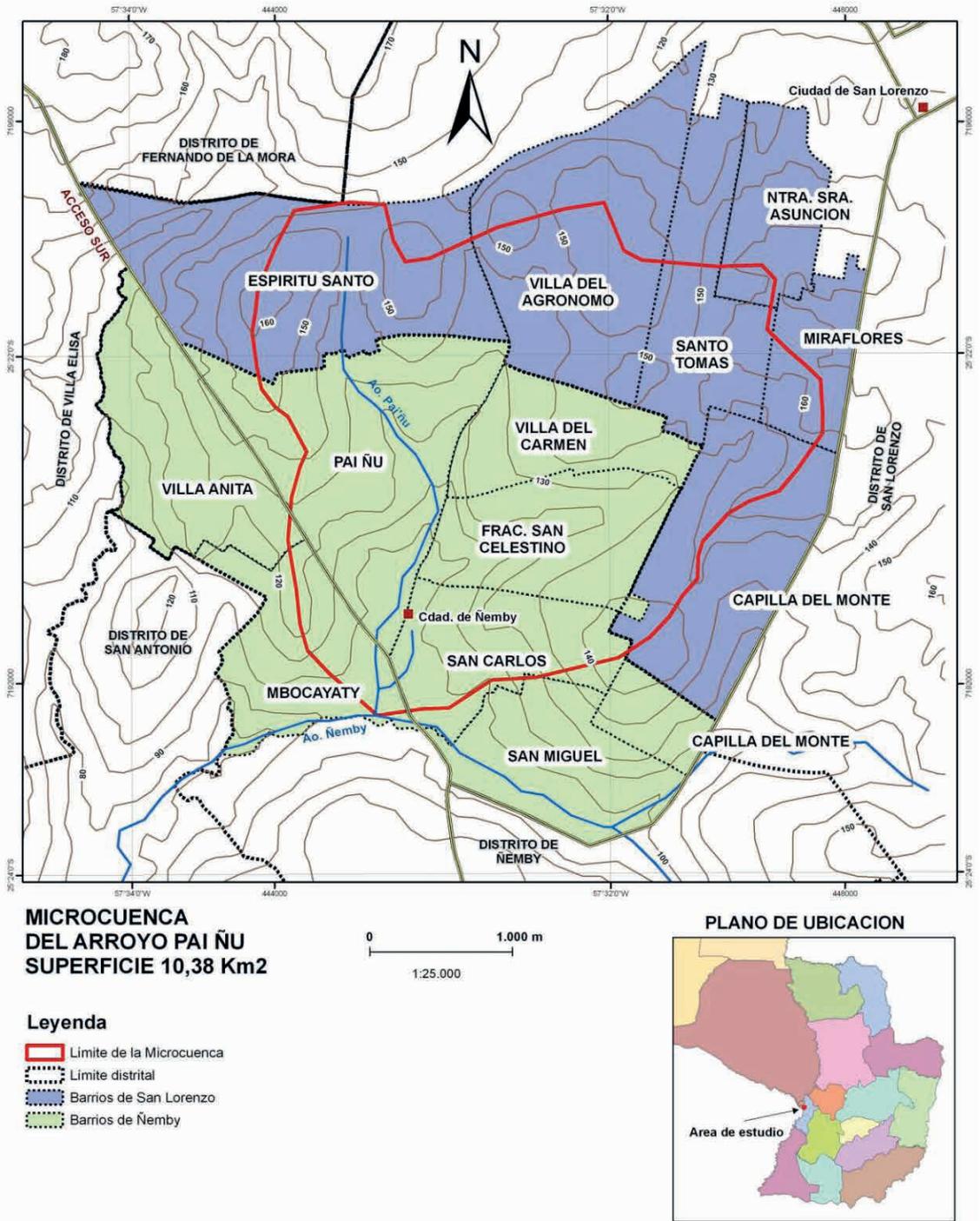


Figura 1. Mapa de ubicación de la microcuenca del arroyo Pai Ñu

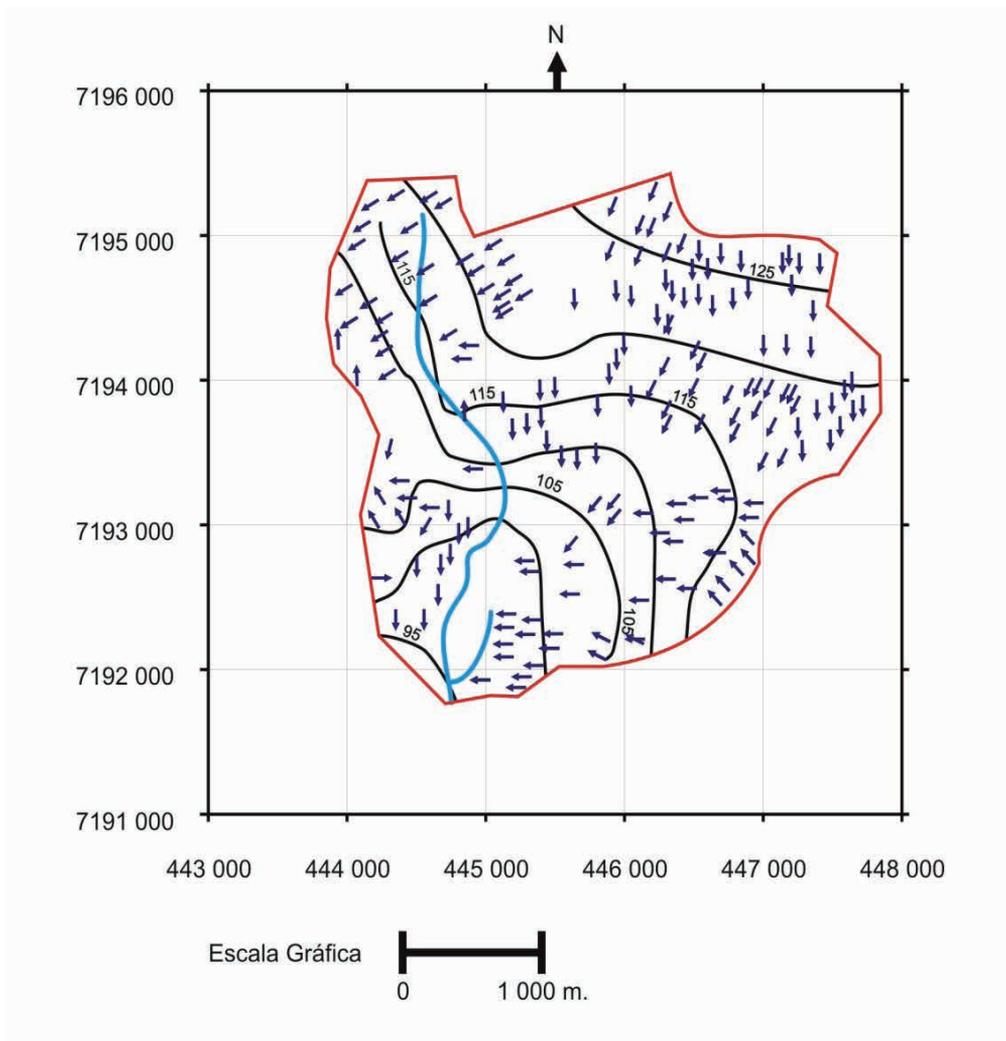


Figura 2. Patrón de flujo del agua subterránea en la zona de estudio

Pozo	Código	Propietario	Coordenadas x	Coordenadas y
P <sub>1</sub>	CL_PO140	Junta de Saneamiento	445488	7194060
P <sub>2</sub>	CL_PO144	Junta de Saneamiento	444159	7195361
P <sub>3</sub>	CL_PO123	Junta de Saneamiento	444789	7193452
P <sub>4</sub>	CL_PO171	Junta de Saneamiento	444040	7194253

Tabla 1. Localización de pozos de abastecimiento dentro de la microcuenca

La metodología aplicada consistió en la ejecución de las siguientes fases de trabajo:

funcionamiento (Tabla 1).

## RECOPIACIÓN Y PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN

Información de la microcuenca: La zona estudiada fue situada geológicamente en el contexto regional; y caracterizada hidrogeológicamente definiendo el tipo de acuífero (libre, confinado, semiconfinado, poroso o fisurado); geometría (dimensiones, límites); parámetros hidrogeológicos (conductividad hidráulica, transmisividad, porosidad, coeficiente de almacenamiento); diagrama de curvas equipotenciales, diagrama de flujo del agua subterránea. También fue realizada la caracterización hidroquímica del agua: mediante la recopilación de análisis químicos y bacteriológicos de los pozos existentes en la zona. A nivel de la microcuenca se realizó un inventario de posibles fuentes contaminantes, además de la caracterización de la gestión y uso del agua.

Información de la captación: Se realizó la caracterización hidrogeológica e hidrodinámica de las captaciones: columna litológica de la perforación, niveles de aporte, niveles estático y dinámico, ensayo de bombeo, etc.

## DEFINICIÓN DE VARIABLES

Para cada uno de los pozos se definieron los siguientes valores: caudal, porosidad específica, espesor saturado, conductividad hidráulica, velocidad específica del flujo de agua y gradiente hidráulico. Los gradientes hidráulicos fueron calculados utilizando el mapa de curvas equipotenciales donde se representa el flujo del agua subterránea, aplicando la fórmula (1) en cada pozo.

$$i = \frac{\Delta l}{L} \dots \dots \dots (1)$$

- $i$  : Gradiente hidráulico
- $\Delta l$  : Variación de nivel piezométrico entre los dos puntos medidos
- $L$  : Longitud entre los dos puntos medidos

## APLICACIÓN DEL MÉTODO WYSSLING.

Este método se basa en la determinación de (i) la zona de llamada de una captación y (ii) posterior búsqueda del tiempo de tránsito de las isócronas, es decir, líneas que unen los puntos (partículas de agua) que necesitan el mismo tiempo para llegar a la superficie del pozo (Moreno & Martínez, 1991).

Para la determinación de los perímetros de protección, se calcula primeramente las dimensiones fijas de la zona de llamada ( $B$ ,  $B'$  y  $X_0$ ) y posteriormente las dimensiones aguas arriba y aguas abajo ( $S_0$  y  $S_u$ ) en función al tiempo de tránsito del contaminante (Figura 3).

El tiempo de tránsito es el tiempo que tarda el contaminante en llegar a la captación que se desea proteger. La zona de protección definida debe ser tal que permita que el contaminante alcance a degradarse antes de llegar a la captación, o se puedan tomar medidas alternativas de abastecimiento hasta que la contaminación disminuya hasta límites aceptables.

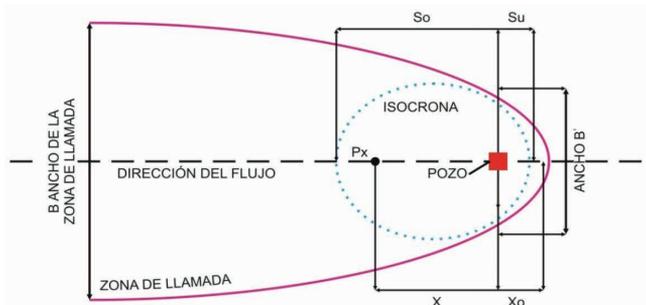


Figura 3. Esquema de la zona de llamada (Lallemand, citado por Foster *et al*, 2001)

A continuación, se detallan las fórmulas de

cálculo:

$$Q = K \cdot B \cdot b \cdot i \dots \dots \dots (2)$$

$$B = \frac{Q}{K \cdot b \cdot i} \dots \dots \dots (3)$$

$$B' = B/2 = \frac{Q}{2 \cdot K \cdot b \cdot i} \dots \dots \dots (4)$$

$$X_0 = \frac{Q}{2 \cdot \pi \cdot K \cdot b \cdot i} \dots \dots \dots (5)$$

- B : Ancho del frente de llamada m
- B' : Ancho del frente de llamada a la altura de la captación m
- X<sub>0</sub> : Radio de llamada m
- i : Gradiente hidráulico adimensional
- Q : Caudal de bombeo m<sup>3</sup>/s
- K : Coeficiente de permeabilidad adimensional
- b : Espesor saturado del acuífero m

Una vez determinada la zona de llamada (B, B' y X<sub>0</sub>), se calculan las dimensiones S<sub>0</sub> y S<sub>u</sub> correspondientes al tiempo de tránsito deseado (isócronas).

$$v_e = \frac{K \cdot i}{m_e} \dots \dots \dots (6)$$

$$S_0 = \frac{+I + \sqrt{I(I + 8X_0)}}{2} \dots \dots \dots (7)$$

$$S_u = \frac{-I + \sqrt{I(I + 8X_0)}}{2} \dots \dots \dots (8)$$

- S<sub>0</sub> : Distancia arriba (sentido contrarior del flujo) m
- S<sub>u</sub> : Distancia aguas abajo (sentido del flujo) m
- v<sub>e</sub> : Velocidad eficaz m/s
- m<sub>e</sub> : Porosidad eficaz adimensional
- I : Ecuacion auxiliar m (v<sub>e</sub> t)

Los tiempos de tránsito considerados fueron los siguientes:

- Zona 1: t<sub>1</sub> = 24 horas
- Zona 2: t<sub>2</sub> = 50 días
- Zona 3: t<sub>3</sub> = 10 años

Para ubicar la posición de los perímetros en cada pozo, se tuvieron en cuenta las direcciones de flujo del agua subterránea en los pozos (Figura 2).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la etapa de definición de variables, se han presentado situaciones particulares en cada pozo debido a la cantidad insuficiente de datos; sin embargo, debido al conocimiento que se tiene del acuífero, se han podido interpolar datos de otros pozos ubicados sobre el mismo acuífero.

A continuación, se exponen los resultados hallados en cada uno de los pozos.

Pozo P1 (CL-PO140): de acuerdo con el perfil litológico con que se cuenta, la litología correspondiente al P1 consiste en una secuencia de areniscas rojizas de granulometría fina a gruesa, con granos subredondeados a bien redondeados. Teniendo en cuenta esta litología, fue estimado un valor de porosidad efectiva m<sub>e</sub>=0,1; el valor del gradiente hidráulico (i) calculado en el pozo es 0,017. Con el ensayo de bombeo realizado en el pozo, quedó establecido un caudal de explotación Q= 40 m<sup>3</sup>/h. El valor de

la conductividad hidráulica ( $k$ ) en ese punto del pozo es  $8.99 \text{ E}^{-06} \text{ m/s}$  (Wehrle & Sekita, citados por 2007). Los valores de los PPP correspondientes al Pozo 1 son:

a. Zona de llamada

B : 485 m  
 B' : 243 m  
 X<sub>0</sub> : 77 m

b. Dimensiones aguas arriba (S<sub>0</sub>) y aguas abajo (S<sub>u</sub>)

	Zona I (t <sub>1</sub> = 24 h)	Zona II (t <sub>1</sub> = 50 h)	Zona III (t <sub>1</sub> = 10 años)
S <sub>0</sub> :	5 m	35 m	596 m
S <sub>u</sub> :	5 m	30 m	123 m

fina a gruesa, con intercalaciones de arcilla y niveles conglomeráticos. La compactación es variable, de friable a bien compacta. La porosidad efectiva correspondiente es  $m_e=0,1$ . El valor del gradiente hidráulico ( $i$ ) en el pozo es 00,016. El ensayo de bombeo establece un caudal de explotación de  $12 \text{ m}^3/\text{h}$ . y el valor de la conductividad hidráulica ( $k$ ) para ese pozo es de  $1,31\text{E}^{-06} \text{ m/s}$  (Wehrle & Sekita, citados por Labaky, 2007).

Los valores de los PPP correspondientes al Pozo 2 son:

a. Zona de llamada

B : 1050 m  
 B' : 525 m  
 X<sub>0</sub> : 177 m

b. Dimensiones aguas arriba (S<sub>0</sub>) y aguas abajo (S<sub>u</sub>)

	Zona I (t <sub>1</sub> = 24 h)	Zona II (t <sub>1</sub> = 50 h)	Zona III (t <sub>1</sub> = 10 años)
S <sub>0</sub> :	2,5 m	18 m	180 m
S <sub>u</sub> :	2,5 m	17 m	117 m

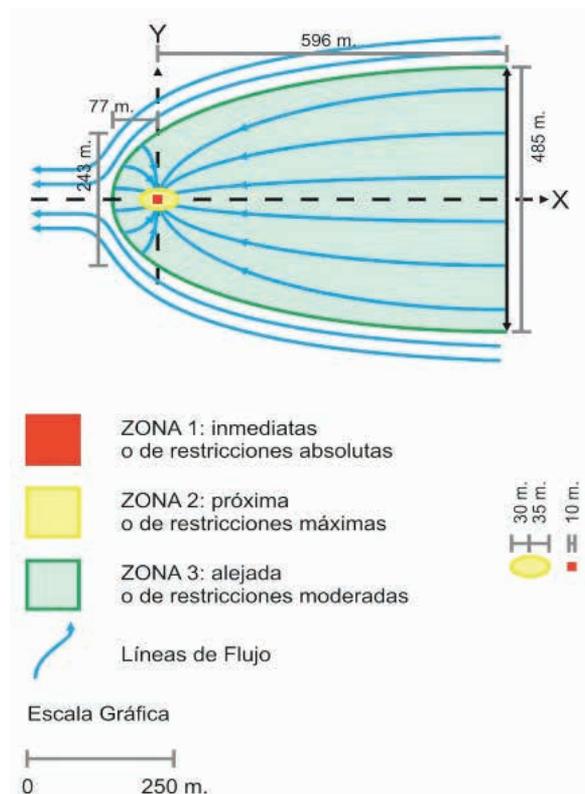


Figura 4. Zonas de protección del pozo P1

Pozo P2 (CL-PO144): la litología correspondiente al pozo P2 comprende una secuencia de areniscas rojizas de granulometría

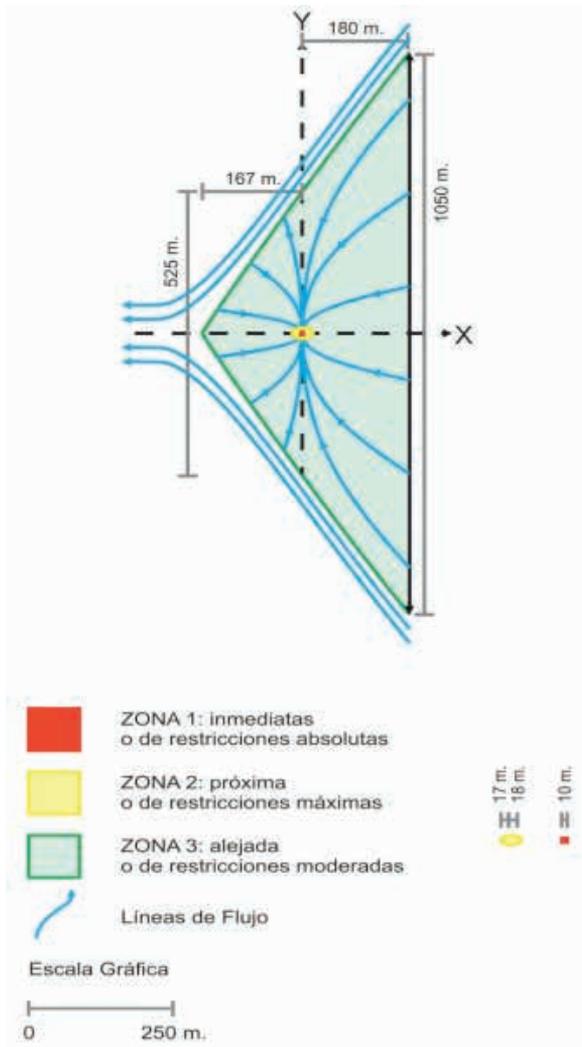


Figura 5. Zonas de protección del pozo P2

Pozo P3 (CL-PO123): La litología correspondiente al pozo P3 está caracterizada como una secuencia de areniscas arcillosa rojizas a arenisca cuarzosa rojizo amarillento de granulometría media a gruesa. El valor de la porosidad efectiva, según Custodio & Llamas (1983) es  $m_3=0,1$ . El valor del gradiente hidráulico ( $i$ ) en el pozo es 0,02. El pozo no cuenta con ensayo de bombeo. Según datos de SENASA (1999), el caudal explotado es  $Q=10 \text{ m}^3/\text{h}$ . El valor de la conductividad hidráulica ( $k$ ) utilizado fue establecido hallando el promedio de los pozos  $P_1$  y  $P_2$ , correspondiente a  $5,1E^{-06} \text{ m/s}$ . Este valor se encuentra dentro del rango de permeabilidad ( $4,6E^{-6}$  a  $5,7E^{-05} \text{ m/s}$ ) determinado para el acuífero Patiño.

a. Zona de llamada

B : 183 m  
 B' : 92 m  
 X<sub>0</sub> : 30 m

b. Dimensiones aguas arriba ( $S_0$ ) y aguas abajo ( $S_u$ )

Zona	I ( $t_1=24 \text{ h}$ )	II ( $t_1=50 \text{ h}$ )	III ( $t_1=10 \text{ años}$ )
$S_0$	2,5 m	18 m	365 m
$S_u$	2,5 m	14 m	50 m

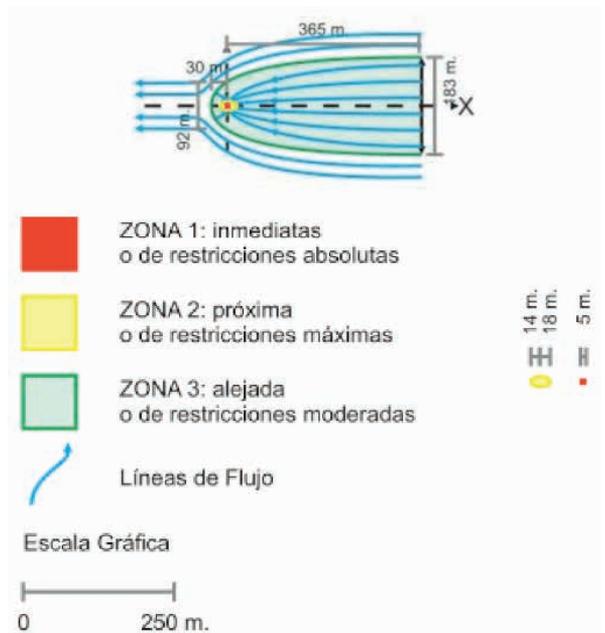


Figura 6. Zonas de protección del pozo P3

Pozo P4 (CL-PO171): esta litología s caracterizada como una secuencia de areniscas pardo rosado a pardo rojizo de granulometría fina a gruesa, con granos redondeados bien seleccionados. El valor del gradiente hidráulico ( $i$ ) en el pozo es 0,014. Como para lo demás pozos, teniendo en cuenta la litología de la captación fue estimado un valor  $m_c=0,1$  para la porosidad efectiva. El espesor considerado del acuífero es  $b=150 \text{ m}$  (Molano, 2001d). Este pozo tampoco cuenta con ensayo de bombeo. Según SENASA (1999), el caudal explotado

es  $Q = 25 \text{ m}^3/\text{h}$ . El valor de la conductividad hidráulica ( $k$ ) utilizado fue determinado hallando el promedio de los pozos  $P_1$  y  $P_2$ , correspondiente a  $5,1E^{-06} \text{ m/s}$ .

a. Zona de llamada

$B : 654 \text{ m}$

$B' : 327 \text{ m}$

$X_0 : 104 \text{ m}$

b. Dimensiones aguas arriba ( $S_0$ ) y aguas abajo ( $S_u$ )

	Zona I ( $t_1 = 24 \text{ h}$ )	Zona II ( $t_1 = 50 \text{ h}$ )	Zona III ( $t_1 = 10$ años)
$S_0$	3,5 m	27 m	350 m
$S_u$	3,5 m	24 m	130 m

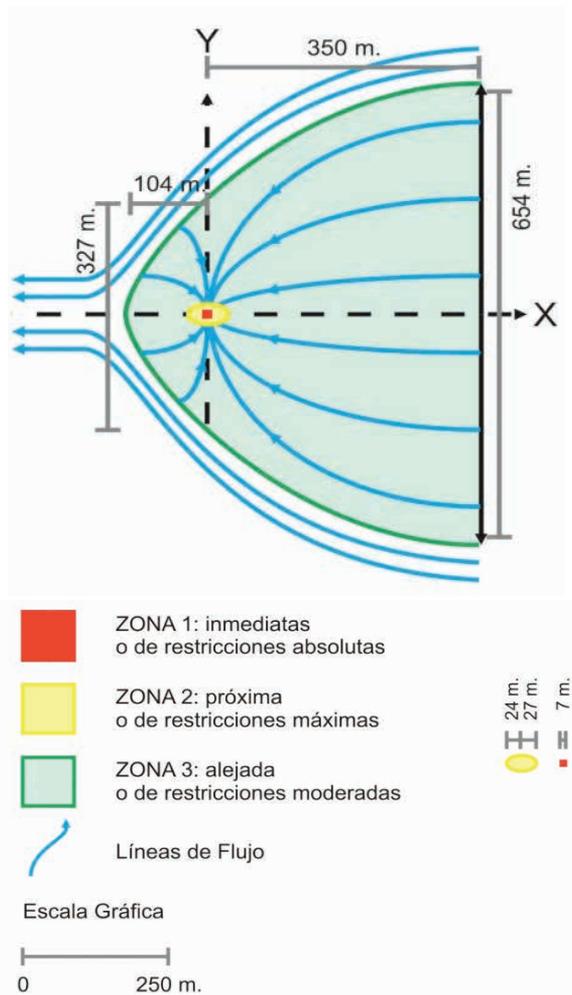


Figura 7. Zonas de protección del pozo P4

En la Figura 8, se encuentran representados todos los perímetros correspondientes a los pozos P1, P2, P3 y P4.

Analizando los resultados obtenidos en los pozos, se observa que existe una relativa variabilidad entre las dimensiones y formas de los perímetros. Las dimensiones del ancho de llamada, ancho de la zona de llamada a la altura de la captación y el radio de llamada varían no sólo con el caudal (que es un factor controlable), sino también con la conductividad hidráulica, que es un factor intrínseco del acuífero, diferente en cada uno de los pozos. El largo de los perímetros para cada una de las zonas, si bien están condicionados a los tiempos de tránsito asignados, dependen también de la conductividad hidráulica, puesto que ésta determina la velocidad del flujo que transporta el contaminante.

En la Figura 8 se observa que, dentro de las áreas delimitadas alrededor de cada pozo, no se encuentra localizada ninguna fuente de contaminación puntual, por lo que puede descartarse en primera instancia contaminaciones de este tipo. Sin embargo, es importante tener en cuenta dos consideraciones: por un lado, la falta de alcantarillado sanitario sigue siendo un factor de riesgo de contaminación difusa, y por otro, el método Wyssling, como en general todos los métodos analíticos, no tienen en cuenta las recargas producidas a partir del arrastre de contaminantes provenientes desde las partes altas fuera de los perímetros establecidos, y que pueden infiltrarse en el interior del propio perímetro. A excepción del pozo P4, no existen tampoco dentro de los perímetros establecidos, otros pozos que pueden producir interferencias en el flujo del agua subterránea.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A Considerando el cumplimiento de los objetivos y los resultados obtenidos, se acepta

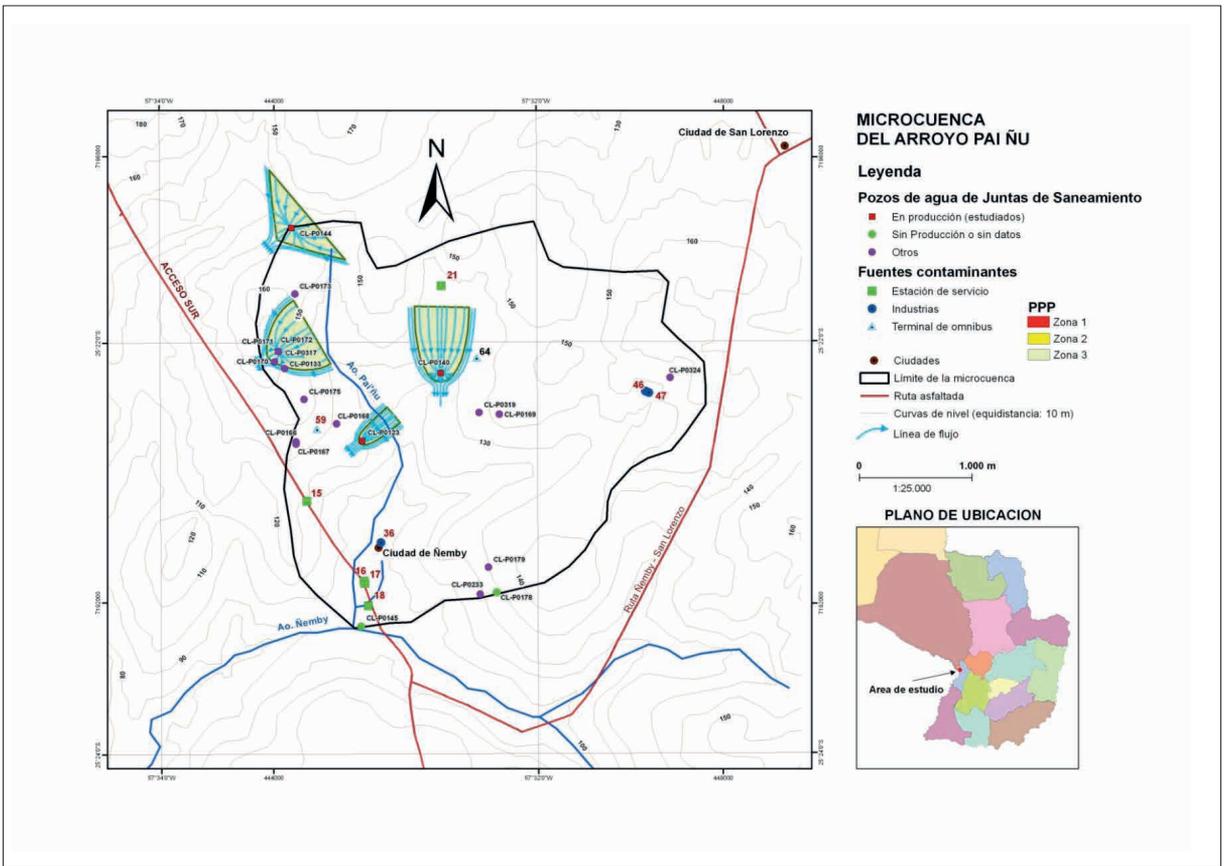


Figura 8. Localización y ubicación de perímetros de protección de pozos en la microcuenca del arroyo Pai Ñu

la hipótesis alternativa, es decir, es aplicable el Método Wyssling para la delimitación de perímetros de protección de pozos en la microcuenca del arroyo Pai Ñu, teniendo en cuenta las condiciones hidrogeológicas y las variables disponibles.

B Como instrumento de protección de la calidad del agua en captaciones, la delimitación de los PPP adquiere importancia teniendo en cuenta la creciente demanda de dicho recurso para abastecer de agua potable a las poblaciones y el creciente riesgo de contaminación de las mismas debido a actividades que pueden desarrollarse en los alrededores de dichas captaciones.

C La utilización de este método en este tipo de acuífero (poroso y homogéneo) resulta muy interesante por su bajo costo, la facilidad de aplicación y datos relativamente accesibles, como se ha demostrado a partir de la experiencia de varios países, principalmente Inglaterra. Un factor que debe ser tomado en cuenta es el arrastre de cargas contaminantes a través de la superficie del terreno que pueden infiltrarse dentro del área determinada por los perímetros.

D La implementación de los PPP generalmente conlleva conflictos en torno a la existencia previa de actividades que pueden constituir una fuente potencial de contaminación, debido a la dificultad que supone cambiar la localización de dichas actividades y el costo que significarían las indemnizaciones. Además, resultaría difícil evaluar las contaminaciones debidas a dichas actividades (si las hubiere) en el momento del cambio de localización. Sin embargo, estos conflictos existen independientemente del método de delimitación de perímetros utilizado.

E Los resultados obtenidos permiten considerar satisfactoria la aplicación del método, por lo que se recomienda su implementación, por parte de las Juntas

de Saneamiento, alrededor de los pozos de abastecimiento a su cargo, a fin de evitar repercusiones en la salud de sus usuarios; también corresponde lo mismo a las aguaterías privadas, por tener la misma responsabilidad en cuanto a la distribución de agua potable a grupos de usuarios.

F Para lograr la efectividad esperada de los perímetros de protección de pozos, es necesario eliminar también las fuentes de contaminación difusa, por lo que es importante la instalación de servicios de alcantarillado sanitario.

G Si se presentan casos como la existencia de varios pozos de abastecimiento cercanos unos de otros, se sugiere establecer un perímetro único que abarque todos los pozos cercanos, utilizando como caudal, la suma de los caudales de todos los pozos y promediando los demás parámetros de los mismos. Lo ideal sería planificar las construcciones de futuras captaciones de agua, de manera a evitar interferencias en el régimen de bombeo y consecuentemente deformaciones de los perímetros trazados.

H Para impulsar la protección de la calidad del agua subterránea, se considera importante la inclusión de la figura de Perímetros de Protección de Pozos en la reglamentación de la Ley N° 3239 De los Recursos Hídricos del Paraguay.

I Por último, se recomienda incluir la zonificación propuesta en las ordenanzas y reglamentaciones de la zona de estudio para la protección del acuífero Patiño.

## REFERENCIAS

- CUSTODIO, E; LLAMAS, M. 1983. **Hidrología subterránea**. 2da ed. corregida. Barcelona, ES: Ediciones Omega S.A. 23088 p.
- FOSTER, S; GARDUÑO, H. 2002. **Protección de la Calidad del Agua Subterránea definición de estrategias y establecimiento de prioridades. Colección de casos esquemáticos**. GW-Mate. Banco Mundial. (En línea). Consultado junio de 2011. Disponible en World Bank Document.
- LABAKY, W. 2007. **ESTUDIO DE POLITICAS Y MANEJO AMBIENTAL DE AGUAS SUBTERRANEAS EN EL ÁREA METROPOLITANA DE ASUNCIÓN” (ACUÍFERO PATIÑO)**. (en línea). Consultado en unió 2009. Disponible en Microsoft Word - Informe Técnico 2.12 Simulación Matematica.doc (una.py)
- MOLANO, C. 2001a. **Estudio del Acuífero Patiño. Informe Técnico 2.5: Pozo exploratorio en la zona piloto. Informe de TNO**, preparado para SENASA, Proyecto FEH.
- MOLANO, C. 2001b. **Estudio del Acuífero Patiño. Informe Técnico 2.6: Pozo exploratorio en la zona piloto. Condiciones geo-hidráulicas en la zona piloto**. Informe de TNO, preparado para SENASA, Proyecto FEH.
- MOLANO, C. 2001d. **Estudio del Acuífero Patiño. Informe Técnico 2.8: Pozo exploratorio en la zona piloto. Riesgos de polución en el área piloto**. Informe de TNO, preparado para SENASA, Proyecto FEH.
- MORENO, L; MARTÍNEZ, C. 1991. **Guía metodológica para la elaboración de perímetros de protección de captaciones de aguas subterráneas. Lucha contra la contaminación**. (En línea). Consultado junio de 2019. Disponible en <https://aguas.igme.es/igme/publica/libro38/lib38.htm>.
- SENASA, 1999. **Banco de datos de pozos perforados por SENASA. Publicación Técnica N° 2**.