

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

María Mercedes Arias

arias.mariamercedes@gmail.com

## INTRODUCCIÓN

En Paraguay, la utilización del agua subterránea ha ido en aumento, tanto para el consumo humano como para la agricultura, ganadería e industrias debido a las ventajas que proporciona: calidad, disponibilidad y costo de extracción relativamente bajo. La zona de mayor desarrollo socioeconómico y de mayor densidad poblacional del país, 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. Los Perímetros de Protección de Pozos, (PPP, *Wellhead Protection Areas*), constituyen una importante herramienta de gestión de los acuíferos, enfocada especialmente a las captaciones de agua destinadas al consumo humano. Tienen como finalidad preservar la calidad del agua de dichas captaciones, delimitando alrededor de las mismas, zonas de protección, donde se restringen o prohíben la implantación de actividades potencialmente contaminantes. El presente trabajo tiene como objetivo determinar la factibilidad de la aplicación del Método de Wyssling en la zona de la microcuenca del Arroyo Pa'i Ñu, situado en el distrito de Ñemby, departamento Central, Paraguay.

## CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio corresponde a la microcuenca del Arroyo Pa'i Ñu, afluente del arroyo Ñemby. Está localizada 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. Mapa de localización de la microcuenca del Arroyo Pa'i Ñu). Su extensión aproximada es de 10,34 km<sup>2</sup> y se caracteriza por presentar relieves suaves cuyas alturas varían entre 100 y 160 m.s.n.m. La zona es destinada principalmente a viviendas y unas pocas industrias y cuenta con servicios de luz, agua y teléfono.

La microcuenca del arroyo Pa'i Ñu se encuentra situada sobre el Acuífero Patiño, caracterizado como poroso, de extensión restringida, en el cual predominan condiciones hidráulicas de tipo libre, aunque pueden observarse sectores con condiciones de semi-confinamiento y hasta de confinados. El acuífero no es homogéneo; en diversos sitios se puede considerar como un sistema multicapa de 2 a 4 capas. Se identificaron en la zona fuentes potenciales de contaminación difusa debido a la generación de aguas servidas, además de gran número de fuentes de contaminación puntual.

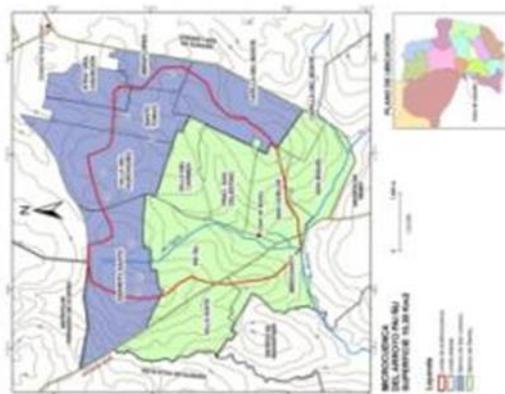


Figura 1. Mapa de localización de la zona de estudio.

## METODOLOGÍA.

### 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, geometría, piezometría, parámetros hidrogeológicos (conductividad hidráulica, transmisividad, porosidad, coeficiente de almacenamiento), mapa piezométrico y diagrama de flujo del agua subterránea.

También se realizó la caracterización hidroquímica del agua y un inventario de posibles fuentes contaminantes.

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

**DEFINICIÓN DE VARIABLES:** Para cada uno de los pozos se definieron los siguientes valores: caudal (Q), porosidad específica ( $m_e$ ), espesor saturado (b), conductividad hidráulica (k), velocidad específica del flujo de agua ( $v_s$ ) y gradiente hidráulico (i).

**APLICACIÓN DEL MÉTODO WYSSLING:** Este método es aplicable a acuíferos porosos homogéneos y se basa en la determinación de la zona llamada de una captación y posterior búsqueda del tiempo de tránsito de las isócronas, es decir de las líneas que unen los puntos (partículas de agua) que necesitan el mismo tiempo para llegar a la superficie del pozo

Para la determinación de los perímetros de protección, se calcula primeramente las dimensiones fijas de la zona de llamada y posteriormente las dimensiones aguas arriba y aguas abajo en función al tiempo de tránsito del contaminante (Moreno & Martínez, 1991).

El procedimiento es el siguiente:

A) Se calcula en primer lugar la Zona de llamada: Siendo B el frente del ancho de llamada,  $B=Q/K.b.i$  donde:  $Q=K.B.b.i$ .

(B) El radio de llamada  $X_0=Q/2\pi K.b.i$

(C) El ancho del frente de llamada a la altura de la captación  $B'=B/2=Q/2K.b.i$ ;

(D) Por último, una vez determinada la zona de llamada se busca en la dirección del flujo, la distancia correspondiente al tiempo de tránsito deseado (isócronas).

Las diferentes zonas de protección son las siguientes: Para la Zona I: delimitación del perímetro teniendo en cuenta un tiempo de tránsito del contaminante  $t_1= 24$  horas (comprende la zona más próxima a la captación. Tiene como finalidad protegerla de las inclemencias del clima, animales, vándalos etc., buscando evitar vertidos y filtraciones directas sobre la misma).

Para la Zona II: delimitación del perímetro teniendo en cuenta un tiempo de tránsito del contaminante  $t_2= 50$  días (Comprende un área de extensión variable pero suficiente para proteger el agua contra la contaminación microbiológica o química de baja persistencia. Para la Zona III: delimitación del perímetro teniendo en cuenta un tiempo de tránsito del contaminante  $t_3= 10$  años (En esta zona se busca proteger la captación de contaminantes no degradables como metales pesados, hidrocarburos o compuestos orgánicos).

Los parámetros utilizados para la aplicación del Método Wyssling fueron:

Parámetro	Símbolo	Unidad de medida
Caudal de bombeo	Q	m <sup>3</sup> /s
Espesor del acuífero	b	m <sup>3</sup> /s
Porosidad específica	$m_e$	adimensional
Coeficiente hidráulico	k	m/s
Gradiente hidráulico sin influencia del bombeo	i	adimensional
Velocidad real del flujo sin influencia del bombeo	$v_r$	m/s

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

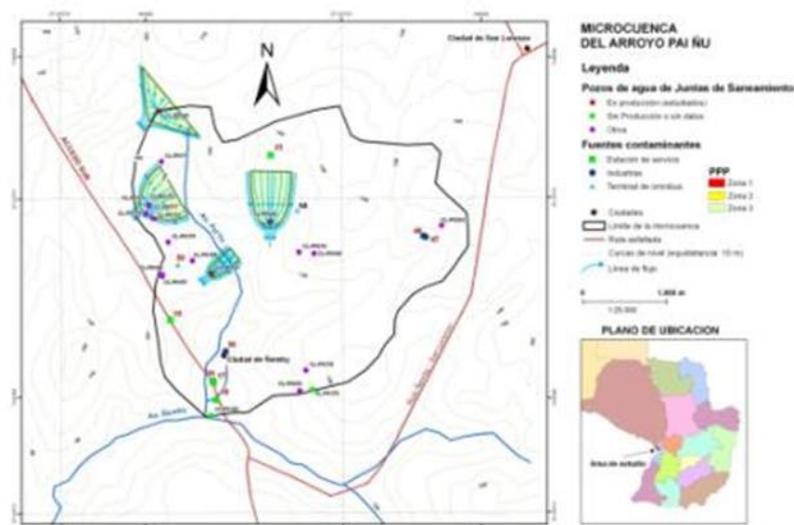
En la etapa de definición de variables, se han presentado situaciones particulares en cada pozo debido a la cantidad insuficiente de datos en algunos de ellos; sin embargo, debido al conocimiento que se tiene del acuífero, se han podido interpolar datos de otros pozos ubicados sobre el mismo.

En cuanto a la porosidad efectiva, no se tiene información específica de este parámetro en ninguno de los pozos, por lo que fue definida mediante tablas teniendo en cuenta la litología propia de cada captación. Debido a la similitud en las litologías de los pozos, correspondientes a arenisca consolidada de granulometría fina a gruesa, se consideró un valor promedio de porosidad efectiva  $m_e=0,1$  para todos los pozos estudiados (Custodio & Llamas, 1983). Este valor es considerado adecuado para el Acuífero Patiño, y ha sido utilizado ya por Houben *et al* (2006) para el cálculo de perímetros de protección de pozos en el acuífero Patiño en la zona de Areguá. Fue utilizado para todos los pozos, un espesor promedio del acuífero  $b=150$  m (Houben *et al*, 2006) Los valores de conductividad hidráulica que no se disponían fueron inferidos promediando los valores de los pozos de los que sí se disponía. Los gradientes hidráulicos correspondientes a sitio de ubicación de cada pozo fueron estimados para cada pozo en base al mapa potenciométrico correspondiente a la zona de la microcuenca.

En el siguiente cuadro se presentan los valores de las variables utilizados correspondientes a cada uno de los pozos:

Parámetro	Símbolo	Unidad de medida	Valores P1	Valores P2	Valores P3	Valores P4
Caudal de bombeo	Q	m <sup>3</sup> /h	40	12	10	25
		m <sup>3</sup> /s	0,011	3,3E <sup>-3</sup>	2,8E <sup>-3</sup>	7E <sup>-3</sup>
Espesor del acuífero	b	m	150	150	150	150
Porosidad específica	$m_e$	adimensional	0,1	0,1	0,1	0,1
Gradiente hidráulico sin influencia del bombeo	i	adimensional	0,017	0,016	0,02	0,014
Conductividad hidráulica	$k$	m/s	8,99E <sup>-6</sup>	1,3E <sup>-6</sup>	5,1E <sup>-6</sup>	5,1E <sup>-6</sup>
Tiempo de tránsito Zona I	$t_1$	hora	24	24	24	24
		s	86400	86400	86400	86400
Tiempo de tránsito Zona II	$t_2$	día	50	50	50	50
		s	4320000	4320000	4320000	4320000
Tiempo de tránsito Zona III	$t_3$	años	10	10	10	10
		s	315360000	315360000	315360000	315360000

Una vez determinados los perímetros correspondientes a los pozos P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>, P<sub>3</sub>, P<sub>4</sub>, se representaron en la figura 2 de arriba, las zonas delimitadas por dichos perímetros en la figura 2. Zonificación propuesta para pozos P1, P2, P3 y P4 localizados en la microcuenca el Arroyo Pa'i Ñu, teniendo en cuenta la dirección del flujo del agua subterránea en cada punto.



*Figura 2. Zonificación propuesta para pozos P1, P2, P3 y P4 localizados en la microcuenca del Arroyo Pa'i Ñu.*

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

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 la no consideración del arrastre de cargas contaminantes a través de la superficie del terreno que pueden infiltrarse dentro del área determinada por los perímetros.

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. 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.

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.

## REFERENCIAS.

1. Custodio, E.; Llamas, M. 1983. Hidrología Subterránea. 2ª ed. Corregida. Barcelona, ES: Ediciones Omega S.A. 2308 p.
2. Houben, G.; Avalos, Y.; Jara, S. 2006. Métodos de Protección del agua subterránea. Proyecto Ordenamiento Ambiental de Zonas Urbanas (ORDAZUR).
3. Moreno, L.; Martínez, C. 1991. Perímetros de protección para captación de aguas subterráneas destinada al consumo humano. Metodología y aplicación al territorio. (en línea).