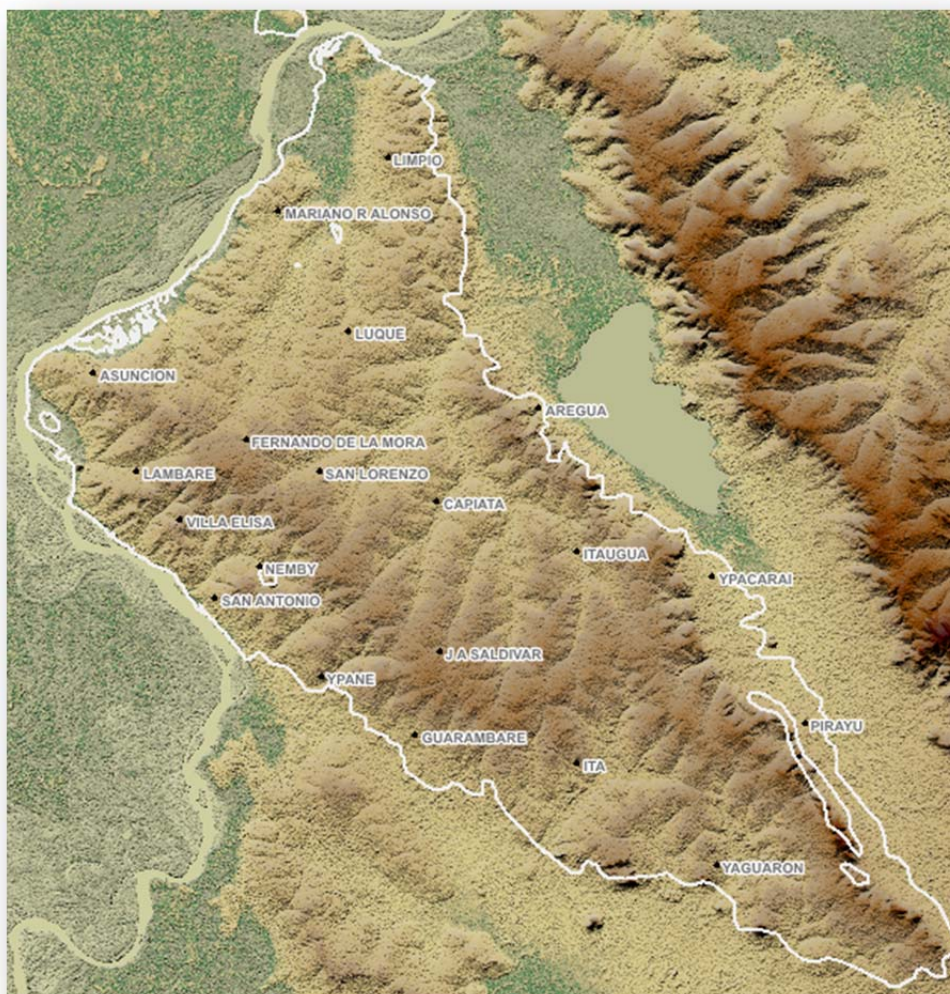


# ESTUDIO DE RECURSOS HÍDRICOS Y VULNERABILIDAD CLIMÁTICA DEL ACUÍFERO PATIÑO

PR-T1207



## PLAN DE MONITOREO

DICIEMBRE 2017

Gestionado por



TEKOHA  
RESÁI  
SAMBYHYHA  
SECRETARÍA DEL  
AMBIENTE



Financiación a través de la



Ejecución



## INDICE

1	INTRODUCCIÓN .....	5
1.1	Objetivos .....	5
2	METODOLOGÍA PARA EL DISEÑO DE REDES .....	6
2.1	Clasificación de las redes de monitoreo.....	6
2.2	Parámetros a considerar .....	7
2.2.1	Cantidad de puntos de monitoreo .....	7
2.2.2	Distribución espacial .....	7
2.2.3	Frecuencia de monitoreo .....	8
2.2.4	Variables.....	9
3	DISEÑO DE LA RED CUANTITATIVA .....	11
3.1	Criterios de selección de los puntos.....	11
3.2	Estado actual de los puntos de control.....	13
4	DISEÑO DE LA RED CUALITATIVA .....	16
4.1	Criterios de selección de puntos .....	16
4.1.1	Usos del suelo.....	16
4.1.2	Presiones .....	18
4.1.3	Mapa de vulnerabilidad .....	19
4.2	Ubicación de los puntos de control.....	21
4.2.1	Criterios para selección de puntos.....	22
4.2.2	Análisis por cuadrantes .....	22
5	PARÁMETROS Y FRECUENCIAS.....	27
5.1	Red Cuantitativa .....	27
5.1.1	Parámetros .....	27
5.1.2	Frecuencia .....	27
5.1.3	Recursos .....	27
5.2	Red Cualitativa .....	27
5.2.1	Red de vigilancia.....	28
5.2.2	Red operativa .....	29
5.2.3	Red operativa de nitratos.....	30
5.2.4	Red de control de salinidad.....	31
5.2.5	Red de pesticidas y plaguicidas .....	31
5.3	Resumen.....	32
6	RECURSOS TÉCNICOS Y HUMANOS .....	34

6.1	Recursos técnicos .....	34
6.2	Recursos humanos .....	35
6.3	Limitaciones .....	36
7	CAMPAÑAS DE CAMPO .....	36
7.1	Primera campaña .....	36
7.1.1	Problemática detectada .....	36
7.1.2	Conclusiones.....	37
7.2	Segunda campaña: verificación red de monitoreo propuesta.....	37
8	PROTOCOLO DE MONITOREO .....	37
8.1	Protocolo de muestreo en campo.....	37
9	JARDINES METEOROLÓGICOS .....	38
9.1	Adquisición de equipos .....	38
10	INVENTARIO Y CENSO .....	41
10.1	Resultados obtenidos.....	43
10.1.1	Año de construcción.....	44
10.1.2	Profundidad de los pozos.....	44
11	CONCLUSIONES .....	46
11.1	Recomendaciones .....	46

## ANEXOS

Anexo 1: Protocolo de monitoreo

Anexo 2: Taller de capacitación

Anexo 3: Características de los pozos propuestos para la red cualitativa

## INDICE de figuras

Figura nº01. Tipos posibles de distribución de puntos. Fuente: Alley (1993). Regional ground water quality. New York, Van Nostrand Reinbold .....	8
Figura nº02. Características constructivas de los piezómetros existentes: Fuente: (Consorcio CKC-JNS, 2007) .....	11
Figura nº03. Superficie piezométrica realizada a partir de los niveles del año 2006-2007 de la red de control de la SEAM. Fuente: Documento diagnóstico (INCLAM, 2017).....	12
Figura nº04. ....	12
Figura nº05. Ejemplos de pozos obstruidos por piedras y basura (en la foto pozo nº31 y 34). Fuente: visita de reconocimiento agosto 2017 .....	13
Figura nº06. Red de control cuantitativa .....	15
Figura nº07. Simplificación de los usos del suelo. Fuente: elaboración propia .....	18

Figura nº08. Presiones detectadas en el diagnóstico. Fuente: elaboración propia a partir de los datos recopilados para el diagnóstico del Acuífero Patiño (INCLAM, 2017) .....	19
Figura nº09. Mapa de vulnerabilidad. Fuente: por (Báez L et al., 2014).....	20
Figura nº10. Ubicación de los piezómetros respecto a los cuadrantes y usos del suelo. Fuente: elaboración propia.....	21
Figura nº11. Red cualitativa propuesta. Fuente: elaboración propia .....	25
Figura nº12. Ubicación de los puntos propuestos en la red de calidad de las aguas subterráneas del Acuífero Patiño. Fuente: elaboración propia.....	26
Figura nº13. Tabla resumen de las diferentes redes propuestas .....	33
Figura nº14. Perfiles del equipo propuesto para el acompañamiento del Plan de Monitoreo. Fuente: elaboración propia.....	35
Figura nº15. Ubicación de los pozos inventariados. Fuente: trabajos de campo para inventario .....	42
Figura nº16. Ejemplo de planilla elaborada. Fuente: elaboración propia .....	43
Figura nº17. Número de pozos visitados por distrito. Fuente: trabajos de campo para inventario .....	43
Figura nº18. Número de pozos construidos por año. Fuente: trabajos de campo para inventario .....	44
Figura nº19. Número de pozos según profundidad. Fuente: elaboración propia .....	45

## 1 INTRODUCCIÓN

La situación del acuífero Patiño está condicionada de forma importante por las elevadas presiones antrópicas que sufre. El acuífero abarca parte de la superficie urbana de Asunción y su área metropolitana, provocando un claro deterioro de la calidad de agua. Los vertidos incontrolados de tipo urbano e industrial dañan ostensiblemente este recurso estratégico que es utilizado de forma mayoritaria para uso doméstico.

Además, los bombeos continuados a lo largo del tiempo han condicionado los niveles y los flujos existentes y la relación con las masas de agua adyacentes en los límites del acuífero, pudiendo agravar el problema de la calidad del acuífero favoreciendo previsiblemente el proceso de intrusión salina que se está produciendo producto del contacto con el acuífero del Chaco en una área importante.

Esta situación ha llevado a las autoridades del Paraguay a estudiar el acuífero en repetidas ocasiones, generando una valiosa información antecedente que sirve de base para poder comprender el estado actual del acuífero y su evolución. En este mismo sentido desde la Secretaría del Ambiente (SEAM) se ha promovido el estudio **PR-T1207 “Estudio de Recursos Hídricos y Vulnerabilidad Climática del Acuífero Patiño”**. Financiado por el AECID a través del Banco Interamericano de Desarrollo (BID) que tiene como objetivo último generar un plan de gestión del acuífero que garantice la sostenibilidad futura del acuífero.

El agua subterránea es un recurso cuyos cambios en su calidad y cantidad suelen ser procesos lentos y cuyos impactos no son visibles de manera inmediata. Para poder realizar un seguimiento de estos cambios es necesario utilizar redes de monitoreo e interpretar los datos obtenidos de éstas. El monitoreo de la respuesta de un acuífero y de sus tendencias de calidad son básicos para lograr una gestión eficaz del agua subterránea y controlar los impactos de la extracción del agua subterránea y de las cargas de contaminantes.

Por lo tanto, en esta etapa se pretende diseñar una red de monitoreo de las aguas subterráneas del Acuífero Patiño, definiendo la ubicación de los puntos que la componen, los parámetros a ser monitoreados y la frecuencia con la que estos deberían ser controlados.

### 1.1 Objetivos

El objetivo del presente documento es definir un Plan de monitoreo atendiendo a una distribución y frecuencias óptimas de los puntos, así como definir los parámetros a ser considerados para asegurar la continuidad del monitoreo.

## 2 METODOLOGÍA PARA EL DISEÑO DE REDES

Los principales objetivos de una red de monitoreo deben ir orientados a fines de planificación, manejo y toma de decisiones sobre la protección de las aguas subterráneas así como herramienta para identificar la existencia de presiones antrópicas. Por lo tanto, deben ser diseñadas para proveer datos representativos y datos precisos y confiables. Por lo general, consideran diversos factores como la representatividad espacial, hidrogeología de la zona, zonas de carga y descarga, características de pozos o piezómetros ya existentes, etc...

Las redes de monitoreo deben de ser definidas a partir del objetivo y del alcance que se quiere dar al monitoreo. Lo óptimo es definir varias redes de monitoreo según su propósito, ubicación y frecuencia de los pozos. De esta manera se busca optimizar los resultados de las campañas obteniendo el máximo de información necesaria con el menor uso de recursos evitando las informaciones redundantes o innecesarias.

### 2.1 Clasificación de las redes de monitoreo

Los puntos de control se organizan en redes de control, entendiéndose como tal todos aquellos puntos que tienen un objetivo común. Según su finalidad y tal y como se aplica actualmente en lugares como Europa, Estados Unidos o Australia, se pueden clasificar de la siguiente manera:

- **Red de monitoreo cuantitativa:** donde se medirán los niveles piezométricos para seguir su evolución. Lo óptimo es que estos puntos estén provistos de un piezómetro construido a tales efectos, con el sellado sanitario adecuado y las condiciones convenientes para obtener datos representativos.
- **Red de monitoreo cualitativa:** resulta más compleja ya que se debe adaptar a la realidad del Acuífero. Tal y como se define en (Subcommittee on groundwater, 2013) y en la Directiva Marco Europea, se distinguen 3 tipología de redes.
  - **Monitoreo de vigilancia.** La función de la red de control de vigilancia es proporcionar información representativa del estado general de las aguas subterráneas con el objetivo de comprobar los impactos generados por las presiones existentes, evaluar los cambios a largo plazo de las condiciones naturales.
  - **Monitoreo de tendencia (monitoreo operativo):** La red operativa tienen como objetivo el seguimiento de la evolución de las aguas subterráneas, generalmente en aquellas zonas con más presiones o más vulnerables. Es un control más dirigido al seguimiento de problemas detectados en el medio.
  - **Monitoreo específico:** Solo aplica para casos particulares y para estudios específicos (identificación de contaminantes desconocidos, accidentes eventuales, fenómenos naturales imprevistos, etc...). La distribución, parámetros a analizar y frecuencia de medición vendrán definidos por las necesidades requeridas.

El análisis de parámetros, así como su frecuencia, se definirán según el tipo de red.



## 2.2 Parámetros a considerar

El diseño de la red de monitoreo tiene que satisfacer las necesidades de información a partir del correcto diseño de:

- La cantidad y distribución espacial de los puntos que integran la red
- Una construcción adecuada de las estaciones de monitoreo (piezómetros o pozos)
- Un contenido de muestreo (físico, químico, bacteriológico, etc.) que satisfaga las necesidades de conocimiento
- Una frecuencia tal que permita obtener la información de diseño con el menor número posible de viajes al campo.

### 2.2.1 Cantidad de puntos de monitoreo

La cantidad de datos de observación estará determinada por factores que dependen del parámetro que se quiere monitorear. Algunas consideraciones relacionadas a la cantidad de puntos de monitoreo se presentan a continuación:

#### Calidad del agua:

No hay dato exacto acerca del número de puntos óptimo para establecer una red de control de calidad de agua subterránea. Algunos estudios apuntan que la cantidad mínima es la exigida para lograr una distribución normal estadística, es decir, tener un mínimo de 30 datos independientemente del área analizada (Koterba, Wilde, & Lapham, 1995).

#### Niveles de agua:

No hay un dato exacto, pero algunos expertos consideran que debe de estar en un rango entre 2 a 100 pozos medidos cada 1000 km<sup>2</sup>.

Generalmente se considera una distribución bidimensional de los puntos. Sin embargo ciertos cuerpos de agua subterránea pueden variar considerablemente sus características según su profundidad, por lo que se puede ajustar el monitoreo a una toma de datos que incluya esta tercera dimensión. En el caso del acuífero Patiño se considera únicamente una distribución bidimensional.

### 2.2.2 Distribución espacial

Para asegurar una correcta variabilidad y representatividad de los puntos que conformen la red de monitoreo, se pueden realizar varios tipos de distribución.

En la siguiente figura se muestran las diferentes posibilidades de distribución. Como se puede observar, en el caso (b) se asegura que se toma muestra en cada uno de los polígonos de la zona analizada, asegurándonos que se toma muestra en cada uno de ellos ya que tienen características diferentes. En un muestreo con malla uniforme (c) nos aseguramos la uniformidad de los resultados, asegurándonos que los puntos mantienen entre ellos una distancia suficiente para garantizar dicha cualidad. A partir de estas premisas y según el caso que estemos analizando, se puede optar por una de ellas o una combinación de varias de ellas.

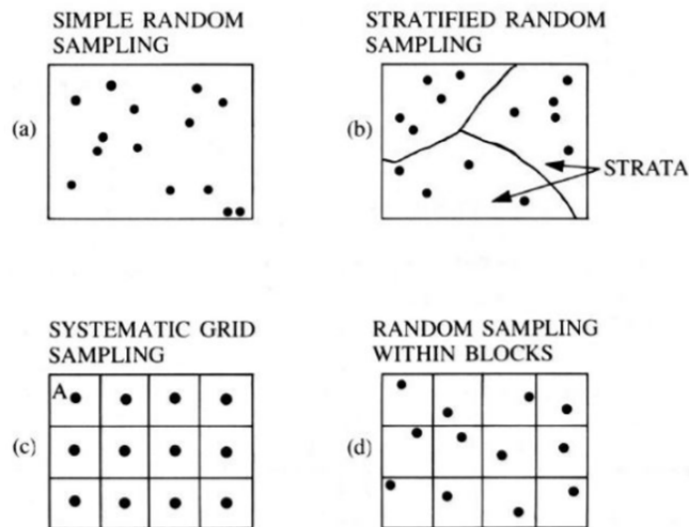


Figura nº01. Tipos posibles de distribución de puntos. Fuente: Alley (1993). Regional ground water quality. New York, Van Nostrand Reinbold

### 2.2.3 Frecuencia de monitoreo

La frecuencia de monitoreo depende en gran parte de la importancia relativa que tenga el punto de control para la red de monitoreo. Una red de monitoreo de tendencia tendrá una mayor frecuencia de monitoreo que una de vigilancia.

En el caso del monitoreo cuantitativo, podemos partir de las recomendaciones de la Directiva Marco del Agua europea, cuyas frecuencias se muestran en la siguiente tabla.

		Aquifer Flow Type				
		Confined	Unconfined			
			Intergranular flow significant		Fracture flow only	Karst flow
			Significant deep flows common	Shallow flow		
Initial frequency – core & additional parameters		Twice per year	Quarterly	Quarterly	Quarterly	Quarterly
Long term frequency – core parameters	Generally high-mod transmissivity	Every 2 years	Annual	Twice per year	Twice per year	Twice per year
	Generally low transmissivity	Every 6 years	Annual	Annual	Annual	Twice per year
Additional parameters (on-going validation)		Every 6 years	Every 6 years	Every 6 years	Every 6 years	-

Frecuencia de monitoreo de la cantidad de agua subterránea según la Directiva Europea. Fuente: Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive (2000/60/EC) (European Commission, 2007)

En el caso de las redes de monitoreo cualitativas, la variedad es mayor y la frecuencia deberá definirse en función del tipo de red, presiones detectadas y objetivos.



#### 2.2.4 Variables

Los factores que condicionan la composición del agua subterránea natural son múltiples, entre ellos cabe citar: naturaleza y disposición espacial de los materiales con los que el agua entra en contacto, superficie y duración del contacto, temperatura, presión, grado de saturación del agua en relación con las distintas sustancias incorporables.

Las variables que pueden ser medidas se describen a continuación, y su análisis dependerá del tipo de red. La definición de diferentes redes permite optimizar recursos y medir solo las variables necesarias donde sea necesario.

##### 2.2.4.1 Nivel freático

El nivel freático reacciona con mayor o menor facilidad frente a los distintos componentes de la recarga y la descarga del sistema en estudio y por tanto cambia constantemente.

##### 2.2.4.2 Características físicas del agua

El agua subterránea natural como consecuencia de su composición química y de acciones naturales externas presenta una serie de propiedades o características fisicoquímicas que pueden medirse in situ como: color, turbidez, temperatura, conductividad eléctrica, sólidos totales disueltos (TDS).

La turbiedad en un agua puede ser causada por una gran variedad de materiales en suspensión que varían de tamaño desde dispersiones coloidales hasta partículas gruesas, entre otros, arcillas, limo, materia orgánica e inorgánica finamente dividida, organismos planctónicos, microorganismos, entre otros.

Conductividad y Sólidos Disueltos Totales indican la facilidad del agua para conducir corriente eléctrica. La conductividad aumenta rápidamente con la cantidad de iones disueltos, lo que nos da idea de la salinidad del agua. El total de sólidos disueltos (SDT) mide el peso de todas las sustancias disueltas en el agua, sean o no volátiles.

Los valores de conductividad de las aguas subterráneas naturales varían considerablemente. Los valores normales en aguas dulces oscilan entre 100 y 2000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Si se superan los 20.000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  se consideran aguas salobres (según clasificación de clasificación DAVIS & DE WIEST, 1967).

##### 2.2.4.3 Componentes mayoritarios

En el agua subterránea natural, la mayoría de las sustancias disueltas se encuentran en estado iónico. Los iones fundamentales, es decir, los que denominados componentes mayoritarios y que, por lo tanto, definen en gran parte la composición del agua, son:

- Aniones: Cloruros ( $\text{Cl}^-$ ), Sulfatos ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), y Bicarbonatos ( $\text{HCO}_3^-$ )
- Cationes: Calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ), Sodio ( $\text{Na}^+$ ), Magnesio ( $\text{Mg}^{2+}$ ), y Amonio ( $\text{NH}_4^+$ ).

El análisis de los componentes mayoritarios es fundamental para conocer la composición de las aguas subterráneas, definir su procedencia y detectar alteraciones en relación a su estado de referencia.

**Cloruros:** son sales en general muy solubles, muy estables en disolución y muy difícilmente precipitables. No se oxida ni reduce en aguas naturales. Sus concentraciones suelen variar entre 10 y 250 ppm en aguas dulces. Las aguas consideradas como saladas se sitúan entre 18.000 y 21.000 ppm.

**Sulfato:** Forma sales moderadamente solubles a muy solubles. Es difícilmente precipitable. Su concentración natural varía entre 2 y 150 ppm en aguas dulces pudiendo llegar a 5.000 ppm en aguas salinas si existe calcio y hasta 200.000 si está asociado a magnesio y sodio.

**Bicarbonato y Carbonatos:** estos aniones comunican alcalinidad al agua. Precipitan con mucha facilidad. El ion bicarbonato varía entre 50 y 350 ppm en aguas dulces pudiendo llegar a veces hasta 800 ppm. El ion carbonato está en concentraciones mucho menores que el ion de bicarbonato y solo es mayoritario en aguas muy básicas.

**Nitratos:** Forma sales muy solubles y por lo tanto es muy difícilmente precipitable. En aguas naturales subterráneas suele hallarse en concentraciones entre 0,1 y 10 ppm pero en aguas contaminadas puede llegar a 200 ppm.

**Sodio:** de muy alta solubilidad y muy difícil de precipitar. En aguas dulces naturales se encuentra entre 1 y 150 ppm en aguas dulces, aunque no es raro encontrarlo en contenidos mucho mayores, sobre todo en zonas salinas.

**Potasio.** Forma sales muy solubles. Sus concentraciones en aguas naturales varían entre 0,1 y 10 ppm.

**Calcio.** Forma sales moderadamente solubles a muy solubles. Precipita fácilmente en presencia de carbonatos. Sus concentraciones en aguas subterráneas naturales varía entre 10 y 250 ppm.

**Magnesio.** Sus características son muy similares al calcio, pero es más soluble y algo más difícil de precipitar. En aguas dulces sus concentraciones suelen ser entre 1 y 100 ppm, aunque pueden encontrarse valores más altos en aguas salobres o con influencia marina.

#### **2.2.4.4 Componentes minoritarios**

El resto de los iones y sustancias disueltas se encuentran por lo general en cantidades notablemente más pequeñas que los anteriores y se denominan componentes minoritarios. Suelen estar en concentraciones entre 0,01 y 1 ppm y entre los más comunes se encuentran Boro, Fluor, Hierro y Manganeseo. Su análisis se realiza en los casos de tener conocimiento de la presencia de estos elementos o en caso de querer conocer la composición total del agua subterránea.

#### **2.2.4.5 Elementos traza**

El resto de elementos se encuentran a nivel de trazas en las aguas subterráneas. Su presencia es menos determinante y por lo general se analizan en el caso de contaminaciones conocidas o estudios específicos. En este apartado se incluyen el resto de metales, compuestos orgánicos volátiles, radioactivos, pesticidas y plaguicidas.

#### **2.2.4.6 Microbiología**

Se mide a través de la presencia de coliformes totales y fecales. En condiciones naturales es muy raro encontrar componentes microbiológicos debido a la baja oxigenación de las aguas subterráneas. Su presencia se debe generalmente a las malas condiciones de los pozos, la mayoría de los cuales se han construido de manera artesanal, no presentan sellos sanitarios. Las fugas de los alcantarillados y las urbanizaciones de desarrollo incompleto sin sistema sanitario implementado es otro de los factores que han influido en la presencia de contaminantes en las aguas subterráneas, en este caso fácilmente identificables por la presencia de coliformes fecales.

### 3 DISEÑO DE LA RED CUANTITATIVA

Por lo general, la red de monitoreo cuantitativa debe estar compuesta de piezómetros que han sido perforado con la única finalidad de medir el nivel de las aguas subterráneas, es decir, que no se usen para extraer recurso ya que entonces no estaríamos midiendo el nivel estático si no el dinámico. Además, es muy importante conocer sus características constructivas: la profundidad total y la zona de ranurado, así como asegurarse que disponen de sello sanitario.

En ese sentido se ha optado por analizar en primera instancia la actual red piezométrica que fue diseñada y desarrollada en el Estudio de Políticas y Manejo Ambiental de Aguas Subterráneas en el Área Metropolitana de Asunción (Consorcio CKC-JNS, 2007) y cuyos piezómetros fueron diseñados y perforados con fines de monitoreo. Cada uno de ellos con sello sanitario, una zona ciega y una zona ranurada identificada tal y como se esquematiza en la siguiente figura.

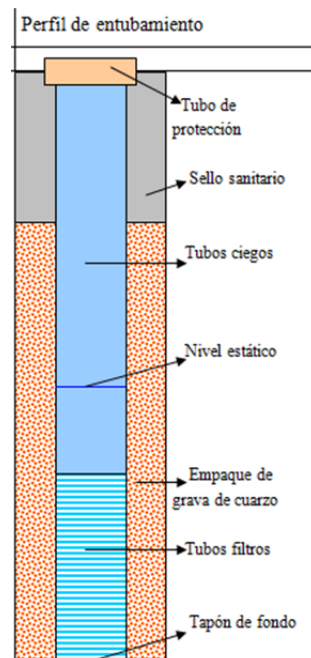


Figura nº02. Características constructivas de los piezómetros existentes: Fuente: (Consorcio CKC-JNS, 2007)

#### 3.1 Criterios de selección de los puntos

El análisis de la superficie piezométrica desarrollada a partir de los niveles medidos muestra un flujo que sigue a grandes rasgos a la superficie topográfica y los flujos superficiales, la principal recarga se produce en las zonas altas de las cuencas que se encuentran en la superficie del acuífero. Los gradientes hidráulicos muestran una conexión con los principales cursos, y en la mayoría drenan el acuífero convirtiéndose en una zona de descarga natural. Los límites del acuífero son a su vez zonas de descarga natural.

Este análisis fue elaborado durante el diagnóstico.

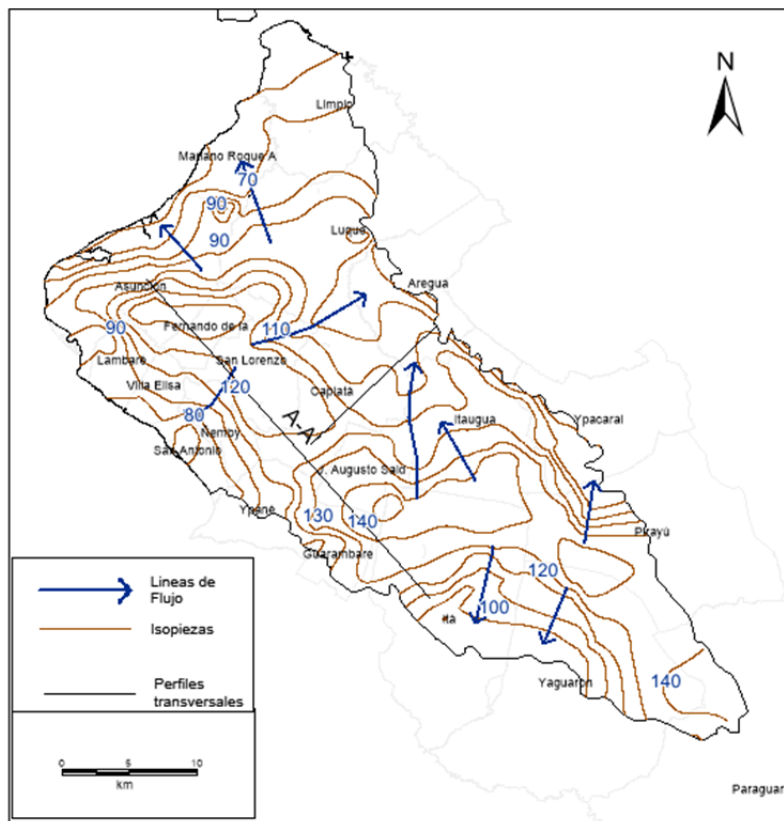


Figura nº03. Superficie piezométrica realizada a partir de los niveles del año 2006-2007 de la red de control de la SEAM. Fuente: Documento diagnóstico (INCLAM, 2017)

Figura nº04.

Por lo tanto, y atendiendo a la clara relación río-acuífero, es de esperar que el criterio adecuado para la selección de ubicación de piezómetros corresponda a la delimitación de subcuencas.

Tal y como se detalla en Estudio de Políticas y Manejo Ambiental de Aguas Subterráneas en el Área Metropolitana de Asunción (Consorcio CKC-JNS, 2007), la metodología tomada para la distribución espacial de los puntos de control fue la de utilizar las diferentes subcuencas hidrográficas generadas y, en el caso de ser cuencas extensas, distribuirlos en la zona alta, media y baja de la cuenca. Adicionalmente se consideró el hecho de colocar los piezómetros dentro de centros educativos con el fin de evitar su destrucción tal y como ocurrió con los 10 piezómetros perforados en el marco de los trabajos de Fortalecimiento de los Estudios Hidrogeológicos del SENASA (2002).

En conclusión, según los criterios utilizados para definir su ubicación y sus características constructivas se considera que esta red debe ser completamente aprovechada para conformar la red cuantitativa de monitoreo de aguas subterráneas.

### 3.2 Estado actual de los puntos de control

A efectos de comprobar el estado actual de los piezómetros, se realizó una inspección de campo durante el mes de agosto de 2017. Se visitaron todos los puntos para conocer su estado de mantenimiento y su operatividad, haciendo un breve diagnóstico de la actual red de control.

Se extrajeron las siguientes conclusiones:

- 32 piezómetros se encuentran operativos. Se procedió a cambiar el candado (1,2,6,7,9,10,12,13,14,15,16,17,19,20,21,22,23,24,26,27,29,33,35,36,37,39,40,42,43,44,45 y 46).
- 12 piezómetros fueron considerados como no operativos (3,4,5,8,11,18,28,30,31,34,38 y 41). Presentaban taponamientos de diversa naturaleza con piedras y basura, en el caso del 4 y 41 presentaban problemas con raíces.
- 3 piezómetros no fueron encontrados físicamente (25,32 y 47).



Figura nº05. Ejemplos de pozos obstruidos por piedras y basura (en la foto pozo nº31 y 34). Fuente: visita de reconocimiento agosto 2017

A continuación se incluye la tabla de los piezómetros existentes, con sus coordenadas, su intervalo de ranuración y su estado operativo después de la primera visita de inspección.

Nº Pozo	LUGAR	X	Y	Z (msnm)	Prof. Perforada	Ubicación filtros (m)	Operativo
Pz 01	Col. Nac. San lorenzo	449204	7196476	140	36	24 - 36	Si
Pz 02	Esc. Grad. 330 Margarita Veia	452588	7191948	137	42	30 - 42	Si
Pz 03	Col. Y Esc. 4210 Acosta Nú	447752	7192401	130	49	31 - 37 y 43 - 49	No
Pz 04	Esc. Grad. Julio Correa	448241	7205755	105	30	18 - 30	No
Pz 05	Esc. Grad. 3279 San José Obrero	457251	7194827	124	48	36 - 48	No
Pz 06	Esc. Grad. 2959 Mbocayaty del Sur	462279	7191520	144	36	30 - 36	Si
Pz 07	Esc. 3454 Santa Librada	464919	7182763	171	50	32 - 38 y 44 - 50	Si
Pz 08	Esc. Grad. 15049 Tatanga Mani	457570	7180476	157	24	18 - 24	No
Pz 09	Col. Nac. Cnel. Felipe Toledo	456428	7188565	143	35	29 - 35	Si
Pz 10	Esc. Grad. 12739 Nueva Esperanza	457157	7182822	174	40	28 - 40	Si

N° Pozo	LUGAR	X	Y	Z (msnm)	Prof. Perfor ada	Ubicación filtros (m)	Operativo
Pz 11	Esc. 402 Porfirio Chamorro	459171	7183929	143	30	24 - 30	No
Pz 12	Esc. Grad. 3522 Esperanza	461486	7179982	148	30	24 - 30	Si
Pz 13	Col. Nac. Aurelia Torres	467062	7179630	129	24	15 - 21	Si
Pz 14	Esc. Grad. 2378 Félix Ruiz	449194	7212364	70	30	24 - 30	Si
Pz 15	Esc. 1804 Gral. Patricio Escobar	441186	7198020	126	46	22 - 34	Si
Pz 16	Col. Nac. Rosa Agustina Fariña	441925	7195238	147	55	41 - 53	Si
Pz 17	Esc. Grad. 2960 Miguel Angel Rodríguez	443019	7194104	125	50	36,50 - 48,50	Si
Pz 18	Esc. Grad. 20 Rca. Del Ecuador	436449	7196732	98	48	36 - 48	No
Pz 19	Esc. Grad. 882 Cornelio Gaona	463975	7176355	110	25	19 - 25	Si
Pz 20	Esc. Grad. 3619 Porfirio Fernandez	461083	7174379	105	30	24 - 30	Si
Pz 21	Esc. Grad. 5357 Cerro Guy	470336	7170882	91	20	14 - 20	Si
Pz 22	Esc. Grad. 2194 Nta. Sra. De Asunción	480756	7168590	123	19	13 - 19	Si
Pz 23	Esc. Grad. 3238 Divino Niño Jesús	474315	7173930	161	22	16 - 22	Si
Pz 24	Esc. Grad. 1675 Juan Bautista Regis	481150	7166086	137	30	18 - 24	Si
Pz 25	Col. Nac. Miguel Angel Torales	449043	7184030	108	30	24 - 30	No
Pz 26	Esc. Grad. 6931 Futuro de la Patria	446488	7185433	92	17	11 - 17	Si
Pz 27	Esc. Grad. 539 Héroes Luqueños	456256	7206334	93	24	18 - 24	Si
Pz 28	Esc. Grad. 6304 S. Roque González	449087	7187317	138	46	34 - 46	No
Pz 29	Esc. Grad. 275 Juana María de Lara	440275	7205479	84	50	38 - 50	Si
Pz 30	Esc. Grad. 343 Ortiz Guerrero	439706	7199945	158	50	38 - 50	No
Pz 31	Esc. Grad. 202 Juan de salazar y Espinoza	440585	7200694	134	50	38 - 50	No
Pz 32	Esc. Grad. 15 Rep. De Panamá	441266	7202416	79	36	24 - 30	No
Pz 33	Esc. Grad. Juan Manuel Frutos	435529	7200998	119	50	38 - 50	Si
Pz 34	Esc. Grad. Rca. Del Perú	433333	7202505	81	50	38 - 50	No
Pz 35	Esc. Julio Cosme Gutierrez	439300	7192535	104	50	38 - 50	Si
Pz 36	Esc. Grad. 616 Sto. Domingo Savio	469435	7184787	136	16	10 - 16	Si
Pz 37	Esc. Despertar Fé y Alegría	447214	7210014	74	20	14 - 20	Si
Pz 38	Esc. Grad. 1876 Cap. De Fragata Romualdo	449948	7218585	69	30	18 - 24	No
Pz 39	Col. San Sebastián - B° Kennedy	451743	7188528	168	55	43 - 55	Si
Pz 40	Esc. Basilio Mancuello	452830	7181425	127	30	30 - 36	Si
Pz 41	Esc. Santiago Leguizamón	453033	7203601	100	30	24 - 30	No
Pz 42	Esc. Vicente Mongelós - Col. C.A. López	445468	7208505	100	50	32 - 38 y 44 - 50	Si
Pz 43	Col. Nac. Fernando de la Mora	445141	7199730	142	42	30 - 42	Si
Pz 44	Col. San Antonio/ San Francisco de Asís	441555	7190322	100	36	30 - 42	Si
Pz 45	Esc. Alberto González	472433	7178719	152	50	33 - 45	Si
Pz 46	Esc. Municipal N° 5 - San José	451972	7186588	135	55	30 - 42	Si

Características de los piezómetros de la red de control actual. Fuente: SEAM y visita de campo agosto 2017



La red definida en 2007 es una red completa que cubre la totalidad del área de estudio. Sin embargo, resulta de gran importancia el hecho de poder recuperar aquellos puntos que actualmente están inoperativos y se recomienda el volver a construir aquellos puntos que han sido destruidos (25,32 y 47).



Figura nº06. Red de control cuantitativa

## 4 DISEÑO DE LA RED CUALITATIVA

El diseño de la red cualitativa de las aguas subterráneas se basa en criterios diferentes a la red cuantitativa. En este caso el control que se requiere va más ligado a las zonas más vulnerables y las que presentan mayores presiones antrópicas.

Además, no se requiere unas características constructivas tan particulares como para el caso de la red cuantitativa donde sólo nos interesa medir el nivel estático. Para el muestreo de la calidad es necesario bombear el agua “estancada” del piezómetro para obtener una muestra representativa. Es decir, los pozos que están bombeando recurso en continuo pueden ser puntos totalmente adecuados para el control de la calidad.

### 4.1 Criterios de selección de puntos

Uno de los métodos más utilizados para saber en qué lugar interesa conocer la calidad del agua subterránea es la superposición aritmética de capas de información. Esto nos permite conocer las zonas más vulnerables y más presionadas y, por lo tanto, las que deben tener un mayor seguimiento.

El seguimiento de la calidad debe guiarse según las presiones detectadas y las zonas más vulnerables y no tanto por la división por subcuencas comentada en el apartado anterior.

Para determinar la posible ubicación de los puntos de control de calidad de las aguas subterráneas del Patiño se parte de las siguientes fuentes de información:

- Mapa de usos del suelo (MOPC, 2014)
- Presiones recopiladas en la fase diagnóstico del presente estudio
- Mapa de riesgos y vulnerabilidad (Báez L, Cynthia, & Juan Pablo, 2014)

Para asegurar una distribución homogénea de los puntos de control y conseguir una máxima representatividad espacial se utiliza como referencia una cuadrícula 10x10m, de manera a cubrir la totalidad del ámbito de estudio. De esta manera obtendremos una división de áreas de 100 km<sup>2</sup> dentro de las cuales debería haber un punto de monitoreo en cada una de ellas para asegurar una **representatividad espacial** de toda el área de estudio.

En este caso, el primer paso también será analiza la inclusión de los piezómetros existentes, ya que fueron contruidos con sello sanitario, lo que nos asegura que no hay contaminación microbiológica o por nitratos como se observó que sucedía en muchos de los pozos de poca profundidad y contruidos de forma artesanal (Sotomayor, Villagra, Cristaldo, Silva, & Ibáñez, 2013).

#### 4.1.1 Usos del suelo

Se ha partido de la información de usos del suelo recopilada del Plan de Ordenamiento Territorial del Área Metropolitana del Gran Asunción (MOPC, 2014). A efectos de facilitar la zonificación del ámbito de estudio y viendo que la información de base disponía de una disgregación muy detallada, se ha procedido a la reagrupación de usos del suelo por tipología.

De esta manera se pasa de tener 24 tipos de usos del suelo a los 6 considerados para el presente Plan de Monitoreo.

Los usos considerados se han reagrupado según los siguientes criterios:

1. Áreas agrícolas, boscosas, y zonas de baja densidad urbana considerada como rural. Las presiones antrópicas y la presencia de industrias son casi inexistentes. Las únicas presiones que podrían controlarse en estas zonas son los productos agroquímicos que pudieran usarse y de los cuales no se dispone de información.
2. Urbano no residencial con predominancia de actividades industriales, comerciales y actividades económicas. Son zonas que se concentran cerca de las principales vías de comunicación. Las principales presiones son los vertimientos de pequeñas industrias no controlados y la presencia de hidrocarburos procedentes de los grifos y talleres mecánicos.
3. Zonas urbanas no consolidadas de baja densidad, viviendas precarias. La principal presión sobre estas zonas se debe a las aguas urbanas usadas ya que en estas zonas no se dispone de red de alcantarillado e incluso algunos pozos fuera de servicio han sido reconvertidos en pozos ciegos. Existen vertidos de pequeñas industrias no controlados que también pueden filtrarse hacia las aguas subterráneas.
4. Zonas residenciales y comerciales de alta densidad. Muy presionada antrópicamente ya que se concentra un gran número de actividades económicas, muchas de ellas sin control en sus vertimientos. También se contemplan las posibles fugas y filtraciones de la red de alcantarillado ya que ésta recibe las aguas usadas de un número muy elevado de habitantes y no dispone de plantas de tratamiento de aguas residuales en concordancia.
5. Zonas residenciales consolidadas de baja densidad, áreas verdes urbanas. Las presiones ejercidas en estas zonas son similares a las anteriores aunque en mayor medida.
6. Cuerpos de agua y humedales

Siguiendo esta disgregación obtenemos la figura siguiente, donde se representan los diferentes usos definidos con la cuadrícula 10x10 que garantice la representatividad espacial.



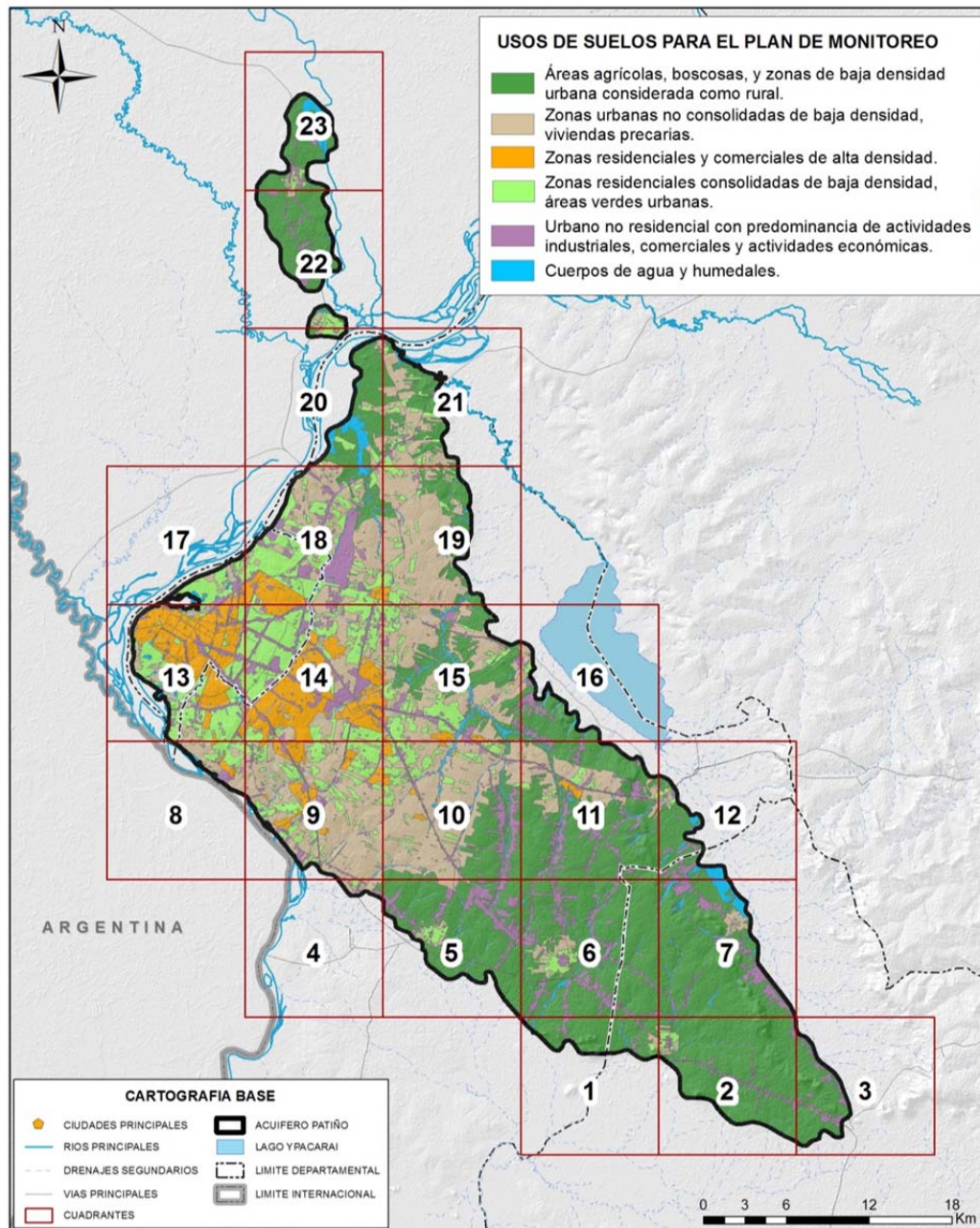


Figura nº07. Simplificación de los usos del suelo. Fuente: elaboración propia

#### 4.1.2 Presiones

En el diagnóstico realizado se analizaron las diferentes presiones detectadas en el área de influencia del Acuífero Patiño.

En la siguiente figura se muestran las presiones recopiladas para poder observar sobre que cuadrantes recaen los mayores impactos.

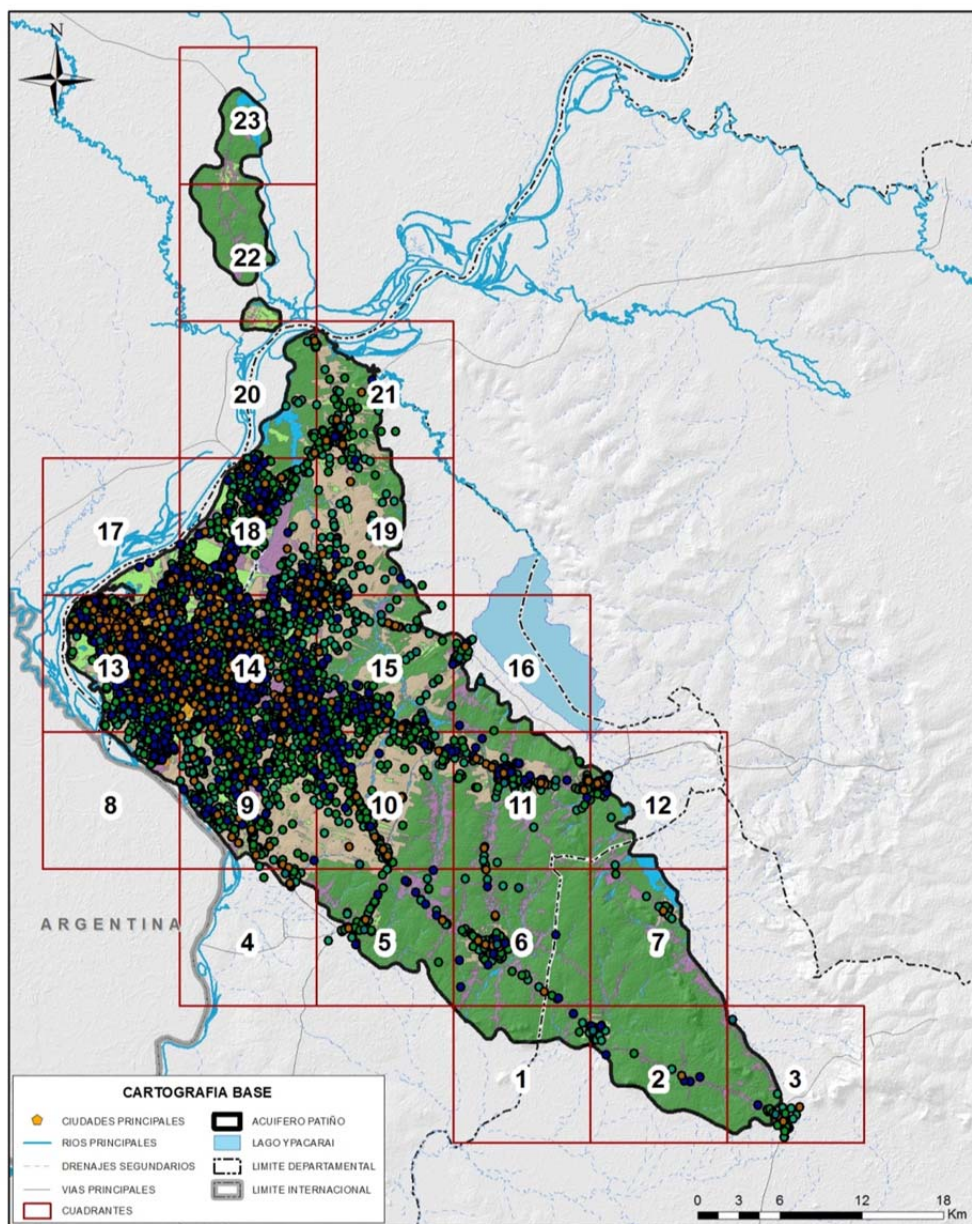


Figura nº08. Presiones detectadas en el diagnóstico. Fuente: elaboración propia a partir de los datos recopilados para el diagnóstico del Acuífero Patiño (INCLAM, 2017)

Como se puede observar, las presiones van en total concordancia con los usos del suelo, concentrándose la gran mayoría en la zona de Asunción donde está el mayor grado de urbanización y presencia de industria.

#### 4.1.3 Mapa de vulnerabilidad

Finalmente, se ha utilizado también el mapa de vulnerabilidad elaborado por (Báez L et al., 2014) en base a resultados de presencia de coliformes y de nitratos. En este mapa podemos observar cuales son las zonas más vulnerables del ámbito de estudio ya que la presencia de contaminantes como nitratos y coliformes indican que los impactos de las presiones definidas ya son detectables en las aguas subterráneas.



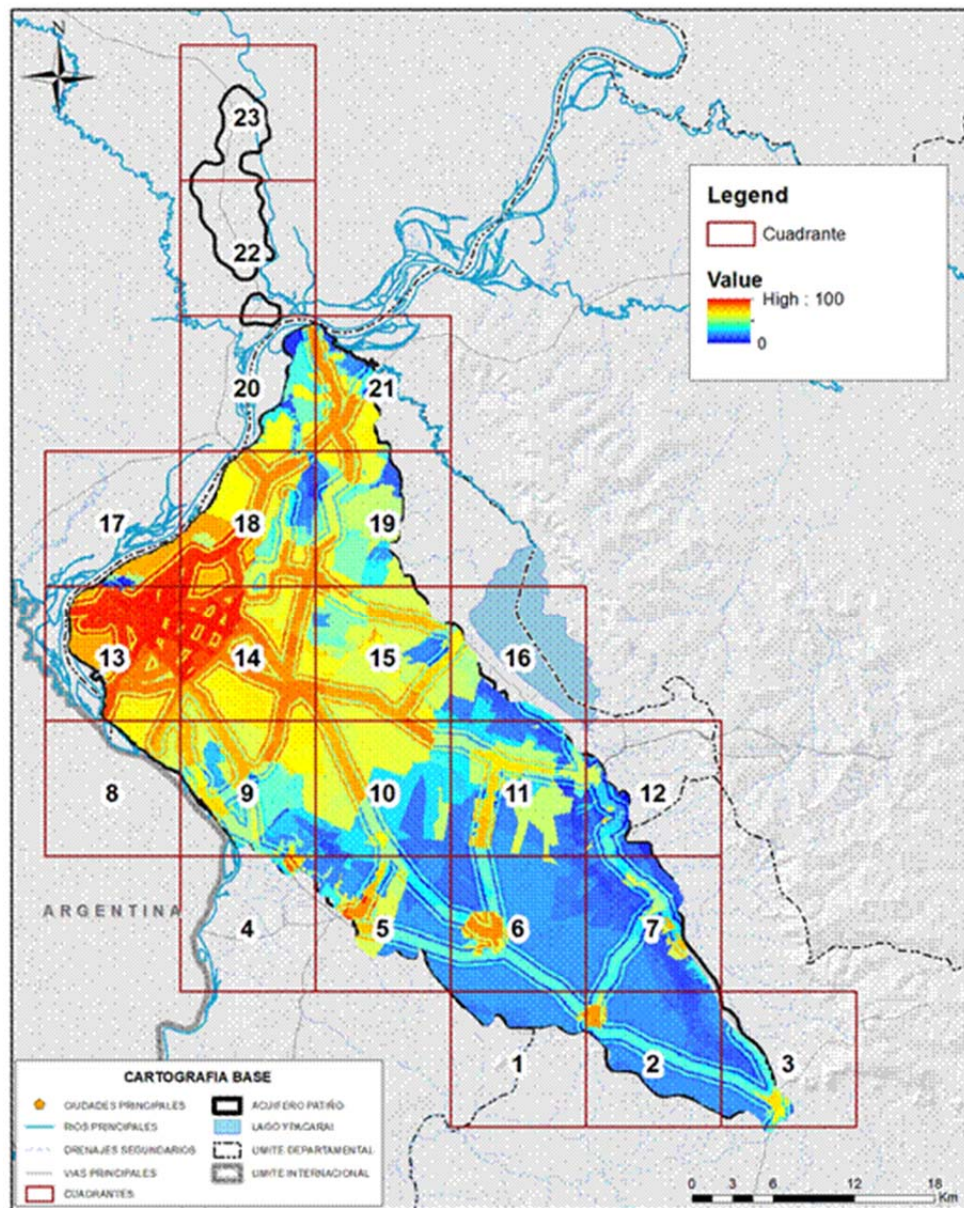


Figura nº09. Mapa de vulnerabilidad. Fuente: por (Báez L et al., 2014)

La vulnerabilidad coincide con las presiones detectadas y con los usos de suelo definidos siendo la zona urbana de Asunción la más afectada por presencia de nitratos y coliformes de origen antrópico.

En resumen, los cuadrantes con más presiones, donde los impactos son visibles y por lo tanto, los más vulnerables son los 13, 14, 15, 18 y 9. En estas zonas el seguimiento debe ser más exhaustivo y su frecuencia de medición mayor con el objetivo de dar seguimiento a los impactos sobre el agua subterránea y proponer posibles medidas de mitigación.



## 4.2 Ubicación de los puntos de control

Los puntos de control de la red de control de la calidad del agua subterránea se ubicarán en base a los cuadrantes (asegurando la representatividad espacial) y dentro de cada uno de ellos se incluirán puntos representativos de cada uso o presión detectados.

El primer paso que se realiza es analizar la actual red de control piezométrico y determinar qué puntos pueden considerarse y en qué zonas es necesario incluir puntos de control adicionales. Si bien los piezómetros no han sido diseñados para control de la calidad, son puntos que pueden ser aprovechados, realizando el bombeo previo pertinente y que nos aseguran una cierta estanqueidad frente a las infiltraciones superficiales por el sello sanitario.

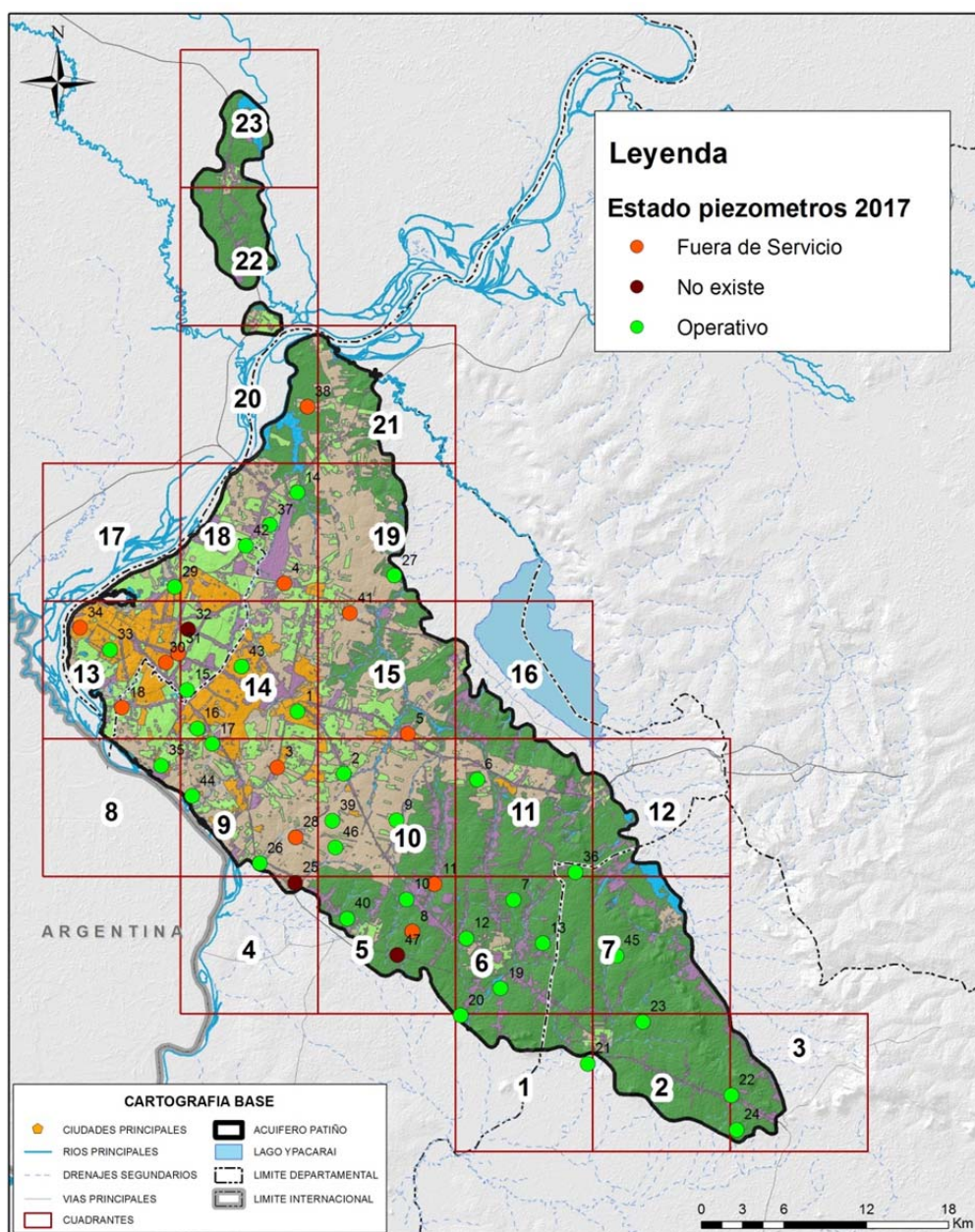


Figura nº10. Ubicación de los piezómetros respecto a los cuadrantes y usos del suelo. Fuente: elaboración propia

Como se observa en la figura anterior, la red actual piezométrica cubre prácticamente todo el territorio. Siguiendo criterios de calidad en algunas zonas tendríamos redundancias (zona oriental del Acuífero) y en otras se deberían definir nuevos posibles puntos.

Para analizar la conveniencia de los puntos actuales o la incorporación de nuevos, se realiza un análisis de cada uno de los cuadrantes. Para cada uno de ellos se comprueba los usos del suelo existentes, las presiones detectadas y se verifica la existencia de un posible punto de control, sea un piezómetro existente o sea un pozo propuesto para que forme parte de la red de control.

#### 4.2.1 Criterios para selección de puntos

Se ha priorizado el muestreo en los piezómetros ya construidos debido a sus características constructivas ideadas para el monitoreo y perfectamente conocidas. Sin embargo, y como se ha comentado con anterioridad, en el caso de toma de muestra para análisis de la calidad es necesario un bombeo del agua, es decir, los pozos con bomba y que están bombeando agua de manera continua resultan una buena opción como punto de control.

Donde se ha considerado que era necesario un punto de control adicional, o bien como alternativa a alguno ya existente, se han analizado las características de los pozos que fueron visitados y caracterizados durante las tareas de inventario. Los criterios para incluir puntos de control a la red actual fueron los siguientes:

- Propietario del pozo: se priorizó la elección de un pozo propiedad de alguna institución como ESSAP o Juntas de Saneamiento ya que son pozos con un mantenimiento y cuyas características son conocidas. Además, todos ellos tienen bomba por lo que facilita las labores de recogida de muestra.
- Pozo actualmente en uso.
- Facilidad de acceso.
- Profundidad del pozo. Se priorizó aquellos más profundos ya que la actual red de piezómetros solo cubre hasta las 50m de profundidad.

#### 4.2.2 Análisis por cuadrantes

Cuadrante 1. Se propone mantener el piezómetro nº21 como punto de control, ubicado en área rural cerca del ciudad de Yaguarón.

Cuadrante 2. Zona con presencia casi nula de presiones antrópicas a excepción de pequeñas explotaciones ganaderas y agrícolas. Se mantiene como punto de control el piezómetro nº23, ubicado en área agrícola.

Cuadrante 3. Se propone mantener el piezómetro nº22, ubicado en zona rural. A efectos de calidad el nº24 es redundante y se descarta por su proximidad a un baño (aprox 50m) y unas viejas letrinas (10m).

Cuadrante 5. Zona rural con pocas presiones antrópicas, todas ellas en el centro urbano de Guarambaré. Se incluye en la red de control al piezómetro nº10 (zona de actividad comercial y económica) y nº 40 (zona rural y agrícola). Se propone la sustitución del piezómetro nº10 por el pozo de la Junta de Saneamiento de Itá (ITA5, 152m), que es un punto más profundo y cuenta con bombeo continuo lo que para los análisis cualitativos resulta mucho más adecuado.

Cuadrante 6. Zona rural con cierta actividad económica y comercial asociada al centro urbano de Itá. Para el control de dichas presiones se propone mantener los puntos de control del piezómetro nº12 (cerca del centro urbano de Itá) y sustituir el nº13 (zona rural y agrícola) por

el pozo de la Junta de Saneamiento de Yaguarón YAG2, de 132m de profundidad y que dispone de bomba, lo que facilita la toma de muestras para control cualitativo.

Cuadrante 7. Se mantiene el punto de monitoreo piezómetro nº45.

Cuadrante 8. Gran número de presiones antrópicas del centro urbano de Villa Elisa. La principal problemática de esta zona son los niveles freáticos elevados de la zona, lo que dificulta la disposición de efluentes domiciliarios, generándose pequeños cursos de aguas cloacales a cielo abierto que se agrava por el vertido de residuos sólidos sin control alguno. Se incluye en la red el piezómetro nº35.

Cuadrante 9. Esta zona no cuenta con servicios de alcantarillado sanitario. Sus principales cursos recogen las aguas de vertimiento de pequeños talleres artesanales, servicios generales para el transporte, talleres de mecánica, pintura y chapa. Se incluyen como puntos de control el piezómetro nº 17 (centro urbano de Fernando de la Mora, donde se concentran un gran número de presiones antrópicas), piezómetro nº 26 (control de los vertidos en la principal vía de comunicación entre Asunción y Guarambaré). Aunque el nº 3 tenga una ubicación interesante se descarta por estar fuera de servicio.

Cuadrante 10. Zona de actividades económicas asociadas a la vía de comunicación entre San Lorenzo y J.A.Saldivar. Aunque su densidad poblacional no sea tan densa como la zona del Gran Asunción, hay presencia de desagües cloacales, vertidos de la ligera actividad industrial presente y falta de recogida y deposición de los residuos sólidos. Se mantiene como punto de control el piezómetro nº 2 (presencia de actividades económicas) y el piezómetro nº 9 (viviendas dispersas). 39 y 46 son redundantes ya que tienen las mismas presiones que el 9.

Cuadrante 11. Zona rural con la presencia del centro urbano de Itaguá. Se propone mantener 2 puntos de control que abarquen la zona más agrícola y la zona más urbana: piezómetro nº 6 (viviendas dispersas) y piezómetro nº36 (zona rural y agrícola).

Cuadrante 13. Centrado en la zona más densa del centro urbano de Asunción, es la zona más vulnerable y con un gran número de presiones antrópicas. Dispone de red de alcantarillado y sus pozos no son explotados ya que se abastece de agua provista por ESSAP. Además es una de las zonas colindantes al río Paraguay más susceptible a presentar problemas de salinidad. Se mantiene como puntos de control el piezómetro nº 33 (zona de Asunción con alta densidad urbana y un gran número de presiones antrópicas). Se propone incorporar un punto de monitoreo en Lambaré, propiedad de ESSAP, en el centro de distribución de agua de Lambaré (LAM13) para controlar los posibles impactos en esa zona, tanto de contaminación como de salinidad. Adicionalmente, este último punto propuesto es más profundo que los piezómetros de la actual red de monitoreo.

Cuadrante 14. Es el que presenta un mayor número de presiones antrópicas y uno de los más vulnerables. Se propone mantener los piezómetros nº1 y 43 (alta densidad San Lorenzo y Fernando de la Mora) y el nº 15 (zona de Asunción de menor densidad).

Cuadrante 15. No dispone de ningún piezómetro en servicio. Es una zona semi urbana donde no existe servicio de alcantarillado sanitario. Es una zona muy presionada por la carencia de un Plan de Ordenamiento Ambiental, con desagües cloacales, vertidos de la actividad industrial presente y falta de recogida y deposición de los residuos sólidos. Se propone el pozo de la Junta de Saneamiento de Capiatá, ubicado cerca del centro urbano y con una profundidad de 150m (LAM14). Se propone pozo propiedad de ESSAP, con 130 m de profundidad total, en el distrito de Areguá (AR3). Se propone un punto de control en la Junta de Saneamiento de la Cañada San Rafael, de 130 m de profundidad (LUQ28).

Cuadrante 17, Piezómetro nº29 (alta densidad urbana).

Cuadrante 18, piezómetro nº42 (vivienda consolidada de baja densidad y medición de nivel en continuo) y 14 (actividades económicas cerca de zonas de baja densidad y área rural). La zona de alta densidad con más presiones antrópicas la cubre el punto nº29.

Se propone un nuevo punto (AS14) propiedad de ESSAP y de 150 m de profundidad, para controlar una posible influencia de aguas del Chaco.

Cuadrante 19. Piezómetro nº 27 (zona rural y baja densidad poblacional). Se propone incluir un punto de control en la Junta de Saneamiento de Luque, de 120 m de profundidad (LUQ32).

Cuadrante 21: Se propone incluir pozo Junta de Saneamiento Rincón del Peñón, en el distrito de Limpio. 148 m de profundidad (LIM 16). Se propone incluir un pozo de la Junta de Saneamiento de Limpio ubicado en el centro urbano de Limpio (LIM 12).

Cuadrante 23. Se propone incluir en la red de seguimiento a la Junta de saneamiento de Benjamín Aceval

Cuadrante 22. Se propone incluir en la red de seguimiento a la Junta de Saneamiento de Isla Itá

Durante la segunda campaña de campo prevista se tienen previsto tomar muestra de estos puntos para verificar su calidad y, en base a la experiencia, validar su inclusión en la red de control.

A continuación se incluye el listado de los puntos considerados para conformar la red de monitoreo de la calidad de aguas subterráneas.

N° Pozo	LUGAR	X	Y	Prof. Perforada	Ubicación filtros (m)
<b>Pz 01</b>	Col. Nac. San lorenzo	449204	7196476	36	24 - 36
<b>Pz 02</b>	Esc. Grad. 330 Margarita Veia	452588	7191948	42	30 - 42
<b>Pz 06</b>	Esc. Grad. 2959 Mbocayaty del Sur	462279	7191520	36	30 - 36
<b>Pz 09</b>	Col. Nac. Cnel. Felipe Toledo	456428	7188565	35	29 - 35
<b>Pz 10</b>	Esc. Grad. 12739 Nueva Esperanza	457157	7182822	40	28 - 40
<b>Pz 12</b>	Esc. Grad. 3522 Esperanza	461486	7179982	30	24 - 30
<b>Pz 13</b>	Col. Nac. Aurelia Torres	467062	7179630	24	15 - 21
<b>Pz 14</b>	Esc. Grad. 2378 Félix Ruiz	449194	7212364	30	24 - 30
<b>Pz 15</b>	Esc. 1804 Gral. Patricio Escobar	441186	7198020	46	22 - 34
<b>Pz 17</b>	Esc. Grad. 2960 Miguel Angel Rodriguez	443019	7194104	50	36,50 - 48,50
<b>Pz 20</b>	Esc. Grad. 3619 Porfirio Fernandez	461083	7174379	30	24 - 30
<b>Pz 21</b>	Esc. Grad. 5357 Cerro Guy	470336	7170882	20	14 - 20
<b>Pz 22</b>	Esc. Grad. 2194 Nta. Sra. De Asunción	480756	7168590	19	13 - 19
<b>Pz 23</b>	Esc. Grad. 3238 Divino Niño Jesús	474315	7173930	22	16 - 22
<b>Pz 26</b>	Esc. Grad. 6931 Futuro de la Patria	446488	7185433	17	11 - 17
<b>Pz 27</b>	Esc. Grad. 539 Héroes Luqueños	456256	7206334	24	18 - 24
<b>Pz 29</b>	Esc. Grad. 275 Juana María de Lara	440275	7205479	50	38 - 50
<b>Pz 33</b>	Esc. Grad. Juan Manuel Frutos	435529	7200998	50	38 - 50
<b>Pz 35</b>	Esc. Julio Cosme Gutierrez	439300	7192535	50	38 - 50
<b>Pz 36</b>	Esc. Grad. 616 Sto. Domingo Savio	469435	7184787	16	10 - 16
<b>Pz 37</b>	Esc. Despertar Fé y Alegría	447214	7210014	20	14 - 20
<b>Pz 40</b>	Esc. Basilio Mancuello	452830	7181425	30	30 - 36
<b>Pz 41</b>	Esc. Santiago Leguizamón	453033	7203601	30	24 - 30
<b>Pz 42</b>	Esc. Vicente Mongelós - Col. C.A. López	445468	7208505	50	32 - 38 y 44 - 50
<b>Pz 43</b>	Col. Nac. Fernando de la Mora	445141	7199730	42	30 - 42
<b>Pz 45</b>	Esc. Alberto González	472433	7178719	50	33 - 45
<b>ITA5</b>	Junta de Saneamiento Itá	457855	7183613	152	-
<b>LUQ25</b>	ESSAP	452012	7205087	120	-
<b>LAM13</b>	ESSAP - Centro de Distribución Lambaré	440237	7196719	125	-
<b>CAP14</b>	Junta de Saneamiento de Capiatá	454940	7195976	150	-
<b>AR3</b>	ESSAP	458995	7202612	130	-
<b>LUQ28</b>	Junta de Saneamiento Cañada San Rafael	452381	7201192	130	-
<b>AS14</b>	ESSAP	442004	7208907	150	-
<b>LUQ32</b>	Junta de Saneamiento de Luque	453219	7209794	120	-
<b>LIM12</b>	Junta de Saneamiento de Limpio	452263	7216482	140	-
<b>LIM16</b>	Junta de Saneamiento Rincón del Peñón	452820	7219869	148	-
<b>JSBA</b>	Junta de Saneamiento de Benjamín Aceval	444078	7236695	156	-
<b>JSII</b>	Junta de Saneamiento Isla Itá	444774	7231882	80	-
<b>NEM34</b>	ESSAP	445482	7189877	100	-
<b>YAG2</b>	Junta de Saneamiento de Yaguarón	468755	7176399	132	-

Figura nº11. Red cualitativa propuesta. Fuente: elaboración propia



Quedando la ubicación de los puntos como se muestra en la siguiente figura:

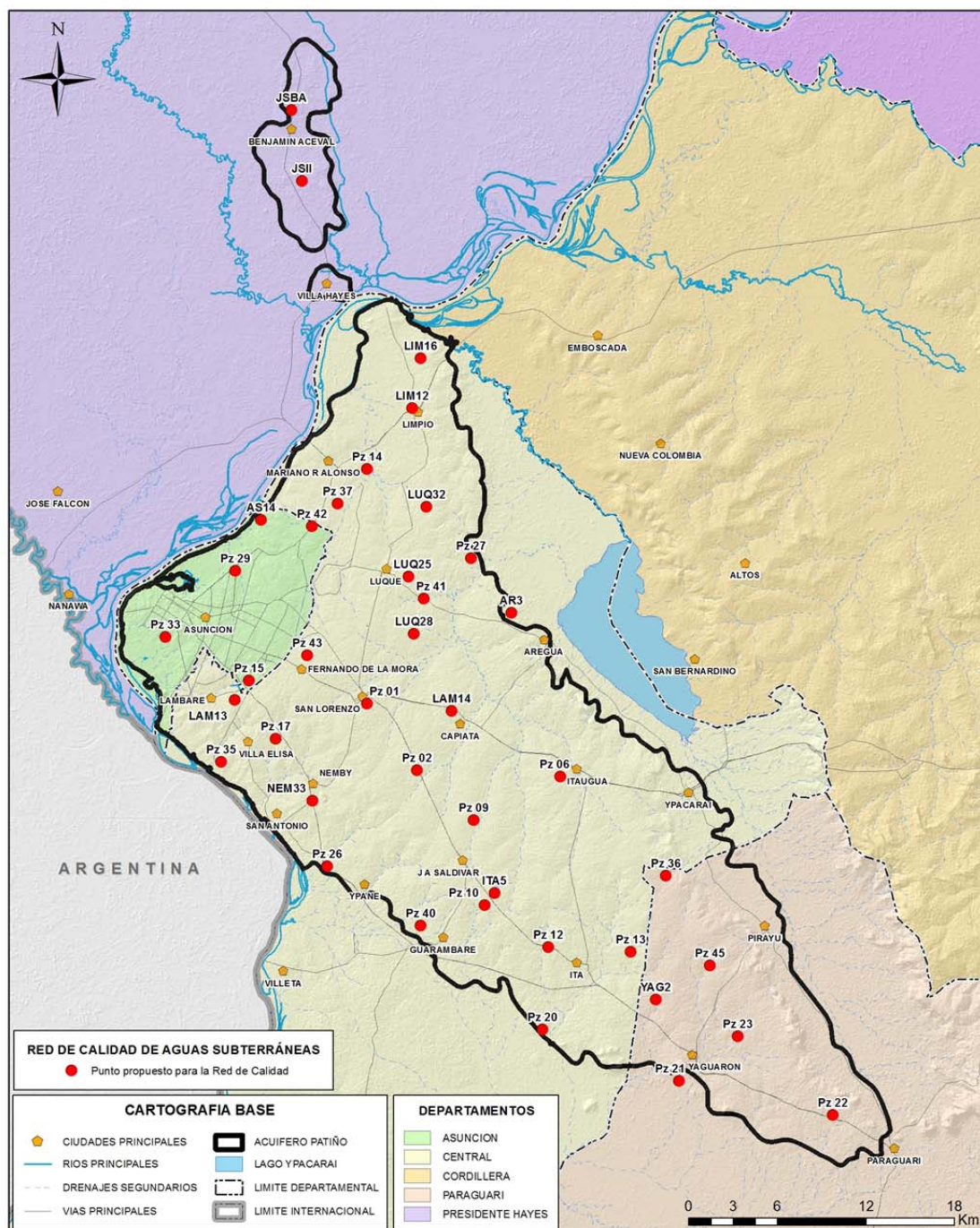


Figura nº12. Ubicación de los puntos propuestos en la red de calidad de las aguas subterráneas del Acuífero Patiño. Fuente: elaboración propia.



## 5 PARÁMETROS Y FRECUENCIAS

A continuación se resumen los parámetros y frecuencias a monitorear para cada una de las redes definidas.

### 5.1 Red Cuantitativa

La red de control cuantitativo se compone de los piezómetros ya existentes puesto que cubren todas las subcuencas definidas y nos aportan la información adecuada sobre niveles piezométricos.

Desde 2010, la SEAM ha realizado varias campañas de monitoreo de nivel en la red piezométrica existente con una frecuencia promedio de 2 veces al año.

#### 5.1.1 Parámetros

El estado cuantitativo de las aguas subterráneas se determina mediante la medición de niveles piezométricos. Este parámetro es relativamente sencillo y se realiza de manera manual.

Adicionalmente, al final de los trabajos se dispondrá de varios piezómetros con medida en continuo ya que, aquellos que se considere que aportan información más relevante serán equipados con sensores tipo DIVER.

#### 5.1.2 Frecuencia

Tal y como se indicaba en la tabla nº01, la frecuencia propuesta es trimestral o bien semestral en el caso de acuíferos confinados. En el caso de Patiño, al ser un acuífero libre, deberíamos considerar una frecuencia adecuada de monitoreo trimestral.

En el caso de los piezómetros sensorizados, y para optimizar las rutas de visita, se propone una visita trimestral para mantenimiento y descarga de los datos

Según los resultados obtenidos, esta frecuencia se puede optimizar si se considera necesario en campañas futuras.

#### 5.1.3 Recursos

Para la medición se requiere únicamente una sonda de nivel y seguir el protocolo de monitoreo definida.

Parámetros a medir	Frecuencia propuesta	Equipo
Nivel de agua	Trimestral	Sonda de nivel

### 5.2 Red Cualitativa

En el caso del seguimiento y control de la calidad de aguas subterráneas, se definirán varias redes de monitoreo en función del objetivo: red de control, red de vigilancia y redes específicas. Esto se hace debido a que, a diferencia de la red cuantitativa, se tiene un mayor número de variables y resulta necesario optimizar los tipos de análisis y la frecuencia de monitoreo según la información que se requiera.

A pesar de realizar esta distinción entre redes, el objetivo es tener una red constituida por puntos de control que sean representativos y aporten información sobre las presiones

detectadas y los posibles impactos que estas puedan generar. La diferenciación entre redes es un aspecto puramente organizativo y se define a partir de la combinación de un conjunto de requerimientos de analíticas, puntos de control y frecuencias determinadas.

### 5.2.1 Red de vigilancia

Se compone de aquellos puntos que no están sometidos a fuertes presiones. Su objetivo es detectar posibles variaciones de parámetros donde estos son relativamente estables y facilitar información para la evaluación de las tendencias prolongadas como consecuencia de modificaciones de las condiciones naturales y de la actividad antropogénica.

Los parámetros que deben ser controlados deben permitir la elaboración de un análisis hidroquímico que permitan realizar un diagnóstico del estado químico del recurso.

#### 5.2.1.1 Parámetros

La red de control de vigilancia debe contemplar los siguientes parámetros:

- Parámetros físico-químicos in situ: (temperatura, pH, conductividad, oxígeno disuelto)
- pH, temperatura, conductividad en laboratorio
- Iones mayoritarios (cloruros, sulfatos, carbonatos, bicarbonatos, calcio, magnesio, sodio, potasio, nitratos).
- Metales
- DBO, coliformes totales y fecales

#### 5.2.1.2 Frecuencia propuesta

Su frecuencia sería anual ya que son puntos que no deberían presentar variaciones importantes.

#### 5.2.1.3 Recursos

La medición de los parámetros en campo (temperatura, oxígeno disuelto, conductividad y pH) se realizan con una sonda multiparamétrica debidamente calibrada. En el caso del pH se debe calibrar en 3 puntos (4, 7 y 9) ya que la zona se caracteriza por pH de tendencia ácida.

En el caso de los parámetros en laboratorio se utiliza pHmetro y conductímetro en laboratorio. Su medida sirve para confirmar la medida en campo y comprobar que la muestra no ha sufrido cambios sustanciales.

Los iones mayoritarios requieren varias técnicas analíticas, por lo general:

- Cloruros, sulfatos y carbonatos/bicarbonatos se pueden medir a través de volumetría
- Nitratos se analizan con espectrofotometría UV-Visible
- Sodio y potasio mediante espectrofotometría de absorción atómica

Los metales pueden analizarse mediante espectrofotometría de absorción atómica con las lámparas específicas (monoelemento o multielemento) o bien mediante espectrofotometría UV-Visible en algunos casos (Fe, Mn).

La DBO se mide con equipos de incubación para DBO.

En el caso de la microbiología se utilizan el método de recuento del número más probable (NMP) mediante cultivo en tubos sellados.

Parámetros a medir	Frecuencia propuesta	Equipos
pH, Temperatura, oxígeno disuelto y conductividad en campo	Anual	Sonda multiparamétrica
pH, Temperatura y conductividad en laboratorio	Anual	pHmetro, conductímetro
Iones mayoritarios	Anual	Volumetría, Espectrofotómetro UV-Visible, Espectrofotómetro de Absorción atómica
Metales	Anual	Espectrofotómetro UV-Visible, Espectrofotómetro de Absorción atómica
DBO	Anual	Incubadora DBO
Coliformes totales y fecales	Anual	Test detección coliformes

### 5.2.2 Red operativa

Se compone de aquellos puntos que están sometidos a presiones significativas. El control operativo se realiza para detectar las repercusiones de los factores de presión. El objetivo es detectar la presencia de tendencias significativas y prolongadas al aumento de la concentración de cualquier contaminante.

#### 5.2.2.1 Parámetros

La red de control operativa debe contemplar los siguientes parámetros:

- Parámetros físico-químicos in situ: (temperatura, pH, conductividad)
- pH, temperatura, conductividad en laboratorio

#### 5.2.2.2 Frecuencia propuesta

Su frecuencia correspondería con el monitoreo de cantidad. Se propone que inicialmente sea trimestral con la posibilidad de adecuar la frecuencia si fuera necesario.

#### 5.2.2.3 Recursos

La medición de los parámetros en campo (temperatura, oxígeno disuelto, conductividad y pH) se realizan con una sonda multiparamétrica debidamente calibrada. En el caso del pH se debe calibrar en 3 puntos (4, 7 y 9) ya que la zona se caracteriza por pH de tendencia ácida.

En el caso de los parámetros en laboratorio se utiliza pHmetro y conductímetro en laboratorio. Su medida sirve para confirmar la medida en campo y comprobar que la muestra no ha sufrido cambios sustanciales.

Parámetros a medir	Frecuencia propuesta	Equipos
pH, Temperatura, oxígeno disuelto y conductividad en campo	Anual	Sonda multiparamétrica
pH, Temperatura y conductividad en laboratorio	Anual	pHmetro, conductivímetro

### 5.2.3 Red operativa de nitratos

El Acuífero Patiño se caracteriza por tener una gran superficie altamente urbanizada y con una falta de red de alcantarillado sanitario. Se define esta red como un grupo de puntos de control específicos para el seguimiento de la evolución de los nitratos y de la presencia de coliformes. Se debe focalizar en las zonas con más presión debida a la población como la zona del Gran Asunción.

Para componer la red de nitratos se proponen los siguientes puntos, todos ellos situados sobre las áreas de mayor densidad poblacional y en las zonas donde no existe o donde la red de alcantarillado sanitario resulta ineficiente: piezómetros 1, 15, 17, 33, 43 y los puntos LUQ25, LAM13, LAM14 y NEM34.

#### 5.2.3.1 Parámetros

La red de control de nitratos debe contemplar los mismos parámetros que la red operativa, pero incluyendo en estos puntos específicos los análisis de nitratos y microbiología:

- Nitratos y compuestos del nitrógeno
- Coliformes totales y fecales.

Se ha incluido el análisis de parámetros microbiológicos ya que el objetivo de esta red no solo es detectar la influencia de los nitratos sino también los posibles impactos generados por las aguas urbanas residuales.

#### 5.2.3.2 Frecuencia propuesta

Se propone una frecuencia trimestral, ya que los puntos considerados solo implican analíticas de nitratos y coliformes adicionales a esos mismos puntos pertenecientes a la red operativa.

#### 5.2.3.3 Recursos

Los nitratos y derivados del nitrógeno (nitritos, amonio), se analizan mediante espectrofotometría UV-Visible.

En el caso de la microbiología se utilizan el método de recuento del número más probable (NMP) mediante cultivo en tubos sellados.

Parámetros a medir	Frecuencia propuesta	Equipos
Nitratos y derivados del nitrógeno	Anual	Sonda multiparamétrica
Coliformes totales y fecales	Anual	Test detección coliformes

#### 5.2.4 Red de control de salinidad

Esta red es muy específica y la componen los puntos de control situados en las zonas más vulnerables por la influencia salina, es decir, en las zonas más cercanas al Chaco.

Los puntos de control considerados en esta red son aquellos ubicados en la zona de influencia del Chaco: piezómetros 14, 15, 29, 33, 37, 42, 43 y los puntos LAM13, AS14, LUQ32, LIM12 y LIM16.

##### 5.2.4.1 Parámetros

La red de control de pesticidas y plaguicidas debe incluir los siguientes parámetros adicionales a los ya incluidos en la red operativa:

- Cloruros

##### 5.2.4.2 Frecuencia propuesta

Se propone la misma frecuencia que la red operativa ya que es un parámetro adicional en los puntos de control específicos de la red de salinidad. Frecuencia trimestral

##### 5.2.4.3 Recursos

Los cloruros se cuantifican mediante técnicas volumétricas.

Parámetros a medir	Frecuencia propuesta	Equipos
Cloruros	Anual	Volumetría

#### 5.2.5 Red de pesticidas y plaguicidas

Esta red debe ser específica para el control de las posibles filtraciones de las aguas de drenaje de origen agrícola donde se utilizan productos fertilizantes, plaguicidas y pesticidas. Su aplicación solo tienen sentido en zonas con cultivos donde se tenga conocimiento del uso de estos productos.

La deben componer los puntos de control nº22, nº23 Y nº13.

##### 5.2.5.1 Parámetros

La red de control de pesticidas y plaguicidas debe incluir los siguientes parámetros adicionales a los ya incluidos en la red operativa:

- Plaguicidas y pesticidas organofosforados y clorados

##### 5.2.5.2 Frecuencia propuesta

Debido a su especificidad y el costo de su análisis se considera suficiente su control una vez al año. En el caso de que los resultados sean relevantes se recomienda revisar su frecuencia para campañas futuras.

##### 5.2.5.3 Recursos

El barrido de pesticidas y plaguicidas se realiza por técnicas cromatográficas: HPLC o cromatografía de gases.

Parámetros a medir	Frecuencia propuesta	Equipos
Pesticidas y plaguicidas	Anual	Cromatografía de gases o HPLC

### 5.3 Resumen

En el siguiente cuadro se muestra un listado de todos los puntos de control y de las redes a las cuales pertenecen con una propuesta de frecuencia de monitoreo según lo explicado en los apartados anteriores.

	Red de cantidad	Red de vigilancia	Red operativa	Red de nitratos	Red de salinidad	Red de pesticidas y plaguicidas
Pz 01	T	A	T	T		
Pz 02	T	A	T			
Pz 03	T*					
Pz 04	T*					
Pz 05	T*					
Pz 06	T	A	T			
Pz 07	T					
Pz 08	T*					
Pz 09	T	A	T			
Pz 10	T					
Pz 11	T*					
Pz 12	T	A	T			
Pz 13	T					
Pz 14	T	A	T		T	
Pz 15	T	A	T	T	T	
Pz 16	T					
Pz 17	T	A	T	T		
Pz 18	T*					
Pz 19	T					
Pz 20	T	A	T			
Pz 21	T	A	T			
Pz 22	T	A	T			A
Pz 23	T	A	T			A
Pz 24	T					
Pz 26	T	A	T			
Pz 27	T	A	T			
Pz 28	T*					
Pz 29	T	A	T		T	
Pz 30	T*					
Pz 31	T*					



	Red de cantidad	Red de vigilancia	Red operativa	Red de nitratos	Red de salinidad	Red de pesticidas y plaguicidas
Pz 33	T	A	T	T	T	
Pz 34	T*					
Pz 35	T	A	T			
Pz 36	T	A	T			
Pz 37	T	A	T		T	
Pz 38	T*					
Pz 39	T					
Pz 40	T	A	T			
Pz 41	T*	A	T			
Pz 42	T	A	T		T	
Pz 43	T	A	T	T	T	
Pz 44	T					
Pz 45	T	A	T			
Pz 46	T	A	T			
ITA5		A	T			
LUQ25		A	T	T		
LAM13		A	T	T	T	
LAM14		A	T	T		
AR3		A	T			
LUQ28		A	T			
AS14		A	T		T	
LUQ32		A	T		T	
LIM12		A	T		T	
LIM16		A	T		T	
JSBA		A	T			
JSII		A	T			
NEM34		A	T	T		
YAG2		A	T			A
<b>TOTAL</b>	<b>46</b>	<b>39</b>	<b>39</b>	<b>9</b>	<b>12</b>	<b>3</b>

T = trimestral

T\* = trimestral una vez el piezómetro haya sido recuperado

A = anual

Figura nº13. Tabla resumen de las diferentes redes propuestas

## 6 RECURSOS TÉCNICOS Y HUMANOS

### 6.1 Recursos técnicos

La SEAM cuenta con un Laboratorio y Centro de Información Ambiental (LAB-CIAM) de suelo y agua que fue construido en el año 2015 a través de una Asistencia Financiera No Reembolsable del Japón a través del “Programa para la Preservación Forestal en la República del Paraguay”, desarrollada en forma conjunta entre la Secretaría del Ambiente (SEAM), el Instituto Forestal Nacional (INFONA), la carrera de Ingeniería Forestal (CIF/FCA/UNA) y la Japan International Cooperation Systems (JICS).

Uno de los espacios de 20 m<sup>2</sup> fue asignado a Calidad de aguas. Se trata de un espacio construido siguiendo toda la normativa internacional de laboratorios y diseñado para que pueda albergar todos los equipos necesarios para realizar las analíticas de agua que requiera la SEAM.

El laboratorio cuenta con los siguientes equipos de medición:

- Equipos de medición en campo de oxígeno disuelto, pH, Conductividad y temperatura (marca Thermo Scientific-ORION)
- Turbidímetro (HACH)
- Sondas de nivel
- pHmetro de mesa (HACH)
- Balanzas analíticas
- Equipos de determinación de coliformes IDEXX Quanta Tray/2000
- Refrigerador para conservación de muestras
- Equipo analítico de medición de carbono y nitrógeno
- Procesador de agua destilada
- Espectrofotómetro UV-Visible (Shimadzu)
- Incubadora para la medición de DBO (LOVIBOND)
- Medidor de DBO de 6 sensores (LOVIBOND) con frascos, agitadores y reactivos necesarios (inhibidor de nitrificación e hidróxido potásico).

Además de toda la vidriería necesaria para la realización de muestras y el material

- Bomba de vacío para filtración
- Desecador
- Baño maría de 4 bocas
- Kitasato, matraces varios, pipetas, vasos de precipitado, Erlenmeyer, varillas y espátulas, placas de Petri, buretas y probetas

La cantidad de los materiales permiten la correcta realización de las analíticas requeridas en el presente plan de monitoreo. De la misma manera, se ha previsto cantidad de reactivos suficientes como para completar 2 campañas de campo de unos 40 puntos de control cada una, así como de su conservación y preservación.

## 6.2 Recursos humanos

Para asegurar el correcto desarrollo de los trabajos de monitoreo, tan importante como los recursos técnicos resultan los recursos humanos adecuados.

Resulta imprescindible tener un equipo debidamente capacitado y formado, con la experiencia suficiente para que sea capaz de resolver aquellos inconvenientes que puedan aparecer durante los trabajos.

La Autoridad Ambiental deberá realizar una evaluación de los profesionales y técnicos que se requieren para abordar cada una de las fases del Plan de Monitoreo de las Aguas subterráneas, teniendo en cuenta que éstas contemplan el análisis de aspectos técnicos, sociales y económicos, y que además involucrarán trabajos de campo y de oficina y Laboratorio, y por tanto se deberá conformar un grupo de trabajo multidisciplinario.

En el caso de que la autoridad ambiental no cuente con los profesionales y técnicos requeridos con el conocimiento, la experiencia y la disponibilidad de tiempo para acompañar la formulación del Plan de Monitoreo, se deberán analizar la contratación de dichos profesionales y técnicos, cuyo perfil y requerimientos se propone en el cuadro a seguir:

Profesional	Función	Perfil
<b>Geólogo/Hidrogeólogo</b>	Caracterización del Acuífero a ser Monitoreado	Profesional con experiencia en Aguas Subterráneas
<b>Hidrólogo, INGENIERO Civil, Ingeniero Ambiental</b>	Caracterización de la Hidrología superficial, Modelos Hidrológicos	Profesional con experiencia en Hidrología
<b>Químico o Ingeniero Químico</b>	Química Analítica, Análisis de Laboratorio	Profesional con experiencia en Análisis de parámetros químicos y evaluación de la Calidad del agua
<b>Sociólogo, Antropólogo y/o trabajador social</b>	Manejo de la participación comunitaria, acción social, estadísticas censos	Profesional con experiencia en procesos de participación comunitaria y manejo de técnicas de participación
<b>Profesional con manejo de Sistema de Información Geográfica</b>	Trabajos de planificación y coordinación de salidas de campo y procesamiento de la información geográfica	Profesional con experiencia en Sistema de Información geográfica- SIG
<b>Auxiliares de Campo/Chofer</b>	Apoyo operativo y logístico	Técnico Auxiliar

Figura nº14. Perfiles del equipo propuesto para el acompañamiento del Plan de Monitoreo. Fuente: elaboración propia.

Todo el personal involucrado en el Plan de Monitoreo debe ser conocedor de las diferentes tareas realizadas en campo y laboratorio, el protocolo de muestreo, los alcances de los trabajos y de cualquier problema que haya surgido en cualquiera de las etapas del proceso. Para ello es fundamental comunicación fluida y coordinación entre miembros del equipo.

### 6.3 Limitaciones

La principal limitación detectada durante esta etapa viene referida al análisis de los iones mayoritarios, parámetros necesarios para el cálculo del balance iónico y para la elaboración de todos los diagramas hidroquímicos que permiten la interpretación de los resultados.

Se ha detectado que con el equipamiento actual del laboratorio no es posible medir la concentración de los iones sodio ( $\text{Na}^+$ ) y potasio ( $\text{K}^+$ ), para los cuales sería necesario disponer de un espectrofotómetro de absorción atómica a la llama o bien externalizar esta analítica. Este espectrofotómetro también serviría para el análisis de un gran número de metales con lo que podría ser útil para otros análisis.

En relación a los análisis de pesticidas y plaguicidas no se considera como limitación el no tener ningún cromatógrafo ya que son análisis muy específicos, con solo 3 puntos de control y una frecuencia anual. Un equipo que solo sirva para realizar este tipo de medición no resultaría rentable por lo que se considera que la opción de externalizarlo es la mejor.

## 7 CAMPAÑAS DE CAMPO

Dentro del alcance de los trabajos se prevé la realización de 2 campañas de campo con el objetivo de detectar la problemática que pudiera aparecer durante el proceso de monitoreo y análisis y proponer así las soluciones necesarias.

### 7.1 Primera campaña

La primera campaña de monitoreo se realizó durante los meses de noviembre y diciembre de 2017 junto con personal del laboratorio de SEAM. El monitoreo se planificó en base a 2 salidas a la semana, de esta manera las muestras recogidas se procesaban justo al día siguiente de llegar al laboratorio, viendo de esta manera la capacidad del laboratorio, con los recursos actuales, de responder a la entrada de muestras.

Se visitaron los piezómetros operativos existentes y se tomaron las muestras necesarias siguiendo el protocolo definido e incluido en el Anexo 1.

#### 7.1.1 Problemática detectada

La campaña de campo realizada ha servido para detectar algunos inconvenientes que pueden producirse durante el desarrollo del monitoreo y poder prever, mejorar y/o solucionar todo aquello que sea posible.

Uno de los principales factores a tener en cuenta son las fechas del muestreo y las condiciones climáticas. Durante esta campaña se tuvo que posponer una de las rutas previstas por lluvias intensas. No se trata de un factor limitante y se resuelve con una planificación que deje margen de fechas por si es necesario algún día de monitoreo adicional.

Si bien ya se había realizado una visita de inspección y diagnóstico de los piezómetros, durante la primera campaña de monitoreo se detectó que uno de los piezómetros considerados como operativo no fue posible bombear para la toma de muestra. Esto se debe a que el medidor de nivel, debido a su pequeño tamaño, llega sin inconveniente a tocar el agua, pero al introducir la bomba esta queda atascada sin poder seguir bajando. A los costados del pozo hay dos árboles grandes por lo que alguna raíz podría estar obstaculizando el paso de la bomba. Este piezómetro debe ser incluido a la lista de ser verificados por SENASA.



Por lo general, en casi todos los pozos el agua tienen un color anaranjado/marrón durante los primeros minutos de bombeo hasta su esclarecimiento progresivo. Sin embargo, algunos de los pozos presentan en todo momento una turbidez muy elevada (especialmente en los piezómetros 16, 36 y 44). Es posible que se esté arrastrando material por exceso de bombeo o bien algún tipo de malfuncionamiento de los filtros de los piezómetros.

El proceso de análisis de las muestras también ha sido una herramienta de gran utilidad para poder detectar posibles errores, verificar y validar los métodos utilizados para el análisis de cada parámetro.

### 7.1.2 Conclusiones

Se trabajó a un ritmo de 4-5 puntos al día, una cantidad de puntos que fue asumida por el laboratorio sin ningún tipo de problema.

Se dispuso de todo el material necesario para el volumen de muestras requerido.

Se ha incluido el piezómetro nº 6 al listado de piezómetros no operativos que deberían ser verificados por SENASA.

Con los primeros resultados se procederá a revisar y analizar la idoneidad de las metodologías utilizadas, con el objetivo de perfeccionar los métodos de cara a la segunda campaña.

## 7.2 Segunda campaña: verificación red de monitoreo propuesta

A principios de 2018 se realizará una segunda campaña de campo, donde se monitorearán los puntos propuestos y se pondrá especial énfasis en la zona más cercana al Chaco, donde es necesario el conocimiento de los parámetros de calidad que ayudarán a definir las condiciones de contorno del modelamiento que se está realizando.

Al igual que la campaña anterior, se utilizará el protocolo de campo propuesto y se tendrá en consideración cualquier inconveniente detectado con el fin de mejorar el Plan de Monitoreo.

## 8 PROTOCOLO DE MONITOREO

El objetivo de definir un protocolo de monitoreo es el establecer los procedimientos y requisitos necesarios para el muestreo del agua subterránea. De esta manera se pretende **garantizar la validez de la muestra y asegurar la representatividad** de los resultados obtenidos.

### 8.1 Protocolo de muestreo en campo

El protocolo de muestreo en campo es el documento que detalla la metodología que permite un muestreo eficiente y representativo en cuanto a todo lo referente a planificación de las salidas, equipos para medición, toma de muestras así como el transporte y la conservación de muestras antes de su análisis en laboratorio.

Este documento debe contemplar las siguientes fases:

- Preparación previa a la salida del campo
- Inspección del pozo o punto de control
- Purga

- Toma de muestra
- Almacenamiento y análisis de la muestra

Es importante que se adapte a las necesidades requeridas para el seguimiento y control del acuífero, por ello es preciso que el protocolo sea revisado de manera periódica y se adapte o modifique cuando se considere necesario.

En el **Anexo 1** se incluye el protocolo de monitoreo propuesto para los trabajos de campo actuales y que ya se ha puesto en práctica durante la primera campaña de campo.

## 9 JARDINES METEOROLÓGICOS

En esta fase del trabajo se propone la instalación de 3 jardines meteorológicos con la instalación de sensores de nivel y de calidad en continuo. Esta instalación incluye, según las especificaciones de los TdR, la construcción de un enrejado de 10X10m con el objetivo que pueda ser utilizado en un futuro para la instalación de equipos de medición climatológica.

A estos efectos, se han planteado los siguientes problemas:

- La falta de disponibilidad de estos espacios tan extensos, y en especial si deben cumplir ciertas características propias de las estaciones climáticas (ausencia de árboles, construcciones cercanas, etc..).
- La duda que los criterios de ubicación de un monitoreo de agua subterránea en continuo coincida con las necesidades de ubicación de una estación climática completa en el mismo lugar.

Se ha realizado la consulta correspondiente a la DINAC acerca de las ubicaciones que pudieran requerir para mejorar la cobertura de datos en la zona y de esta forma intentar buscar la mejor sinergia entre los dos tipos de monitorización (Acuífero Patiño – Clima).

### 9.1 Adquisición de equipos

Con el objetivo de no ralentizar los trabajos y cumplir con los objetivos estipulados se ha procedido a realizar la adquisición de los equipos necesarios para la adquisición de datos en continuo en 3 puntos seleccionados.

Se han adquirido:

- 3 registradores de datos Campbell modelo CR300-NA.

Se trata de datalogger multipropósito y compactos. Concentra los datos, y los pone a disposición a través de variedad de redes y protocolos.



Características generales	
Rango temperatura funcionamiento	-40° a +70°C (estándar)
Entradas analógicas	6 single-ended o 3 diferenciales (se configuran individualmente)
Puertos comunicaciones	USB, RS-232
Salidas 12V conmutables	1 terminal
Digital I/O	7 terminales configurables para entrada/salida digital.
Rango entrada analógica	-100 mV a +2500 mV
Precisión medida voltaje	Las especificaciones de precisión no incluyen ruido del sensor o de la medida. $\pm(0.04\%$ de la medida + offset) de 0° a 40°C $\pm(0.1\%$ de la medida + offset) de -40° a +70°C
Conversor AD	24-bit
Alimentación	10 to 18 Vdc; 16 to 32 Vdc
Precisión reloj tiempo real	$\pm 1$ min. por mes
Protocolos Internet	Ethernet, PPP, RNDIS, ICMP/Ping, Auto-IP(APIPA), IPv4, IPv6, UDP, TCP, TLS, DNS, DHCP, SLAAC, SNMPv3, NTP, Telnet, HTTP(S), FTP(S), SMTP/TLS, POP3/TLS
Communication Protocols	PakBus, Modbus, DNP3, SDI-12, TCP, UDP, y otros
Almacenamiento datos	30 MB serial flash
Consumo medio en reposo	1.5 mA (@ 12 Vdc)
CPU	ARM Cortex M4, a 144 MHz
Dimensiones	13.97 x 7.62 x 4.56 cm
Peso	242 a 249.5 g
Memoria interna	30 MB flash para almacenamiento de datos 80 MB flash para drive CPU / programas 2 MB flash para sistema operativo
Mejor precisión analógica	$\pm(0.04\%$ de la lectura $\pm 6 \mu V$ ) de 0° a 40°C

- 3 Gabinetes Campbell IP66 con soportes y filtro para sensor, Enc12/14

Dimensiones internas: 35.6 x 30.5 x 14 cm y 5kg de peso



- 3 Transductores de presión y conductividad CT2X Titanio para medición en continuo de conductividad, sólidos disueltos y temperatura.



Características generales	
Diámetro	1.9 cm
Peso	0.5 kg
Material del cuerpo	Titanio
Material del sellado del cable	Fluoropolímero y PTFE
Cable	1.8kg/30 m
Protección	IP68, NEMA 6P
Desecante	Indicador silicagel 1-3 mm (capacidad alta o estándar)
Conector terminal	Disponible
Comunicación	RS485 Modbus® RTU SDI-12 (ver.1.3)
Rango de temperatura operativa <sup>3</sup>	-5° C a 40° C
Rango de temperatura de almacenaje	-40° C a 80° C
Memoria	4MB – 349.000 registros
Tipos de intervalos	Variable, definido por el usuario, logarítmico, perfil
Velocidad de registro	4x/seg máximo
Software	Aqua4Plus complementario or Aqua4Push
Configuración en red	32 direcciones disponibles por conexión con capacidad de lotes (hasta 255)
Formato ficheros de datos	.xls / .csv / .a4d

Temperatura	
Tipo de sensor	Termistor 30K ohm
Material del sensor	Carcasa exterior en epoxy
Precisión	± 0.25° C
Resolución	0.1° C
Rango	-5° C a 40° C
Unidades	Celsius, Fahrenheit, Kelvin



Conductividad	
Material de la sonda	Epoxy/Grafito
Electrodo	4 polos
Precisión estática	± 0.05% del valor medido
Resolución	32 bit
Rango Conductividad	0-100,000 ó 0-200,000 ó 0-300,000 $\mu\text{S/cm}$
TDS	4.9-49,000 ó 4.9-98,000 ó 4.9-147,000 mg/L
Salinidad	2-42 PSU
Unidades	$\mu\text{S/cm}$ , mS/cm, mg/L, PSU
Resolución	0.1 $\mu\text{S/cm}$ / 0.001 mS/cm / 0.1 mg/L (TDS) / 0.001 PSU
Tiempo de puesta en marcha	200 msec
Compensación térmica	Ninguna, lineal o nLFn

Presión	
Tipo de transductor	Sensor de silicio
Material del transductor	Acero inoxidable 316 o titanio
Precisión estática	± 0.05% fondo escala (típica) ± 0.1% fondo escala (máximo) (B.F.S.L. 20° C)

## 10 INVENTARIO Y CENSO

Durante el desarrollo del diagnóstico y plan de monitoreo se ha realizado un inventario de pozos que ha consistido en un reconocimiento de campo y un diagnóstico del estado y de las características principales de los puntos visitados.

En total se han visitado 656 pozos que cubren la totalidad del ámbito de estudio y que se muestran en la siguiente figura. Como se puede observar, se ha hecho especial incidencia a la zona de San Lorenzo, Fernando de la Mora y Villa Elisa, donde existe una creciente densidad urbana y que sirve como complemento de los inventarios realizados en estudios anteriores que se centraban en la zona de Asunción.

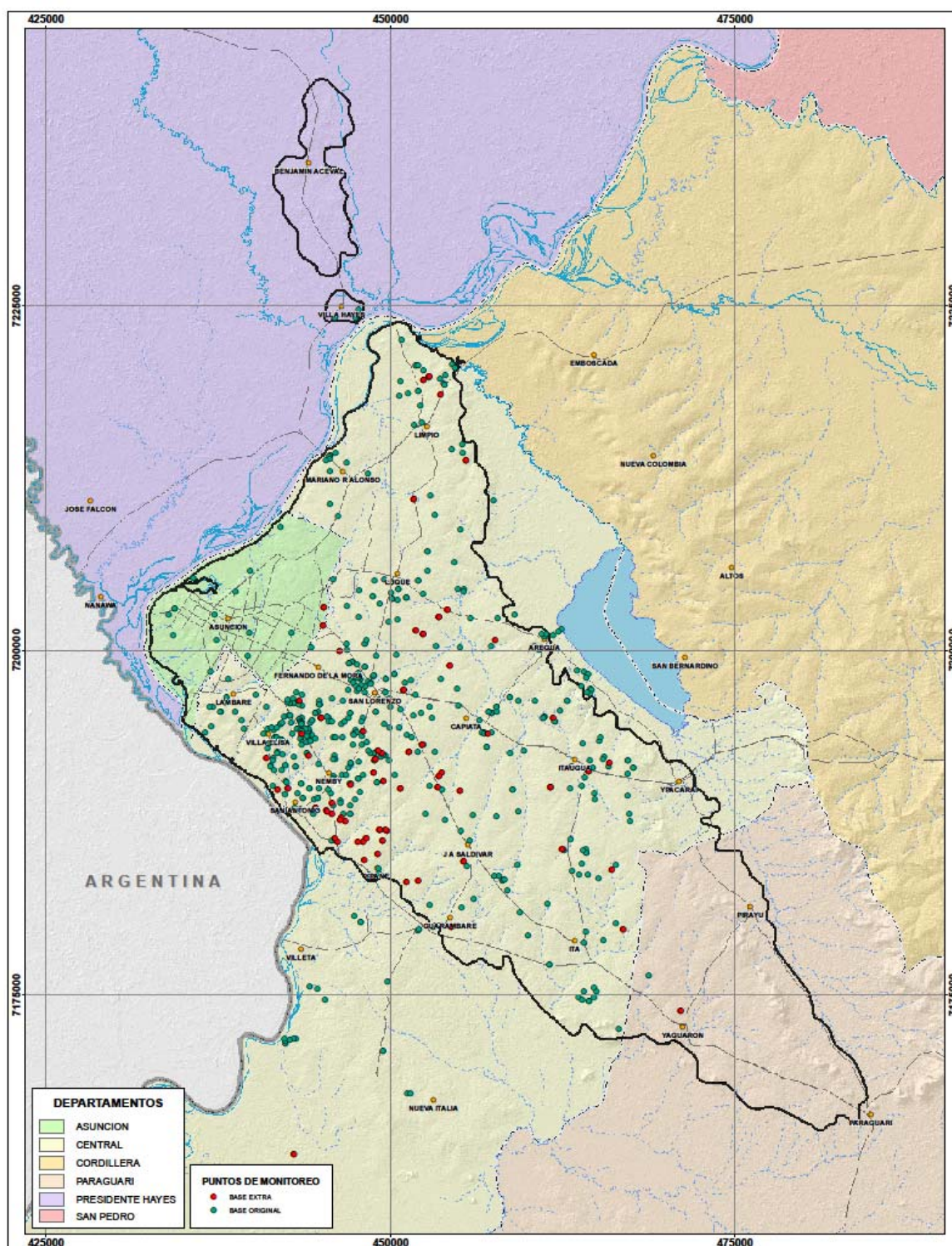


Figura nº15. Ubicación de los pozos inventariados. Fuente: trabajos de campo para inventario

Este inventario ha servido para recopilar información básica sobre los pozos. Para cada punto visitado se ha rellenado una planilla de campo con los datos principales sobre el pozo, características y uso del recurso (ver más detalles de la planilla en el Anexo 1).

**Datos generales**

Nº muestra: 008 Nombre del pozo: FOM-13

Propietario: Frigorífico Guarani S.A.C.

Dirección: Cnel. Martínez y Sta. Teresa

Fecha: 09/06/2017 Departamento: Central

Hora: 08:13 Distrito: Fernando de la Mora

UTM X: 445095 UTM Y: 720795 UTM Z: Foto: [X]

Observaciones:

**Características del pozo**

Tipo: Pozo ☐ Tipo de pozo: Entubado ☐

Piezómetro ☐ Material: S.S. pulg. ☐

Díametro: Tipo entubado: Geomecánico ☐

Año de construcción: 1997 Estudio Hidrogeológico: ☒ Si ☐ No

Años en uso: 20 Dinámico ☐ Estático ☒

Nivel del agua (m): 25 m Profundidad total: 80 m

Uso del agua: Uso para todo tipo

Volumen entrado:

Presencia de bomb: Si

Características de la bomba: 20HP

Caudal de bombeo: 40.000 l/h

Existencia de datos históricos de nivel o calidad: Existen

Observaciones:

**Fotografías**

**Esquema de ubicación**

Figura nº16. Ejemplo de planilla elaborada. Fuente: elaboración propia

Todos los datos obtenidos se han recopilado en una base de datos y se entregan en formato digital. La información adquirida se analiza brevemente a continuación.

## 10.1 Resultados obtenidos

En la gráfica siguiente se muestran los pozos visitados por distrito. Como se ha comentado con anterioridad, se ha priorizado la visita a los distritos de San Lorenzo, Ñemby, Luque, Itaguá, Capiatá y Limpio al considerar que estas zonas son las que reciben mayores presiones antrópicas (exceptuando la zona de Asunción donde se han centrado los anteriores inventarios de pozos).



Figura nº17. Número de pozos visitados por distrito. Fuente: trabajos de campo para inventario

De los 656 puntos visitados, el **19%** se encontraban fuera de servicio, sellados y/o abandonados. Algunas de las razones manifestadas por los dueños son: electrobomba averiada y existencia de servicio de agua corriente en la zona que obliga a abandonarlos.

#### 10.1.1 Año de construcción

El 17% de los pozos visitados no se ha podido determinar el año de construcción, y cabe resaltar que de la totalidad de puntos visitados un gran número de ellos no dispone de ningún informe técnico sobre las características constructivas.

Si se analiza el año de construcción, se observa que la gran mayoría han sido perforados durante los últimos 20-30 años. El 52% de ellos han sido construidos a partir del 2000.

Como se observa en la siguiente figura, la tendencia de construcción de pozos ha ido en aumentando año tras año, aunque se aprecia un ligero estancamiento en los últimos 5 años.

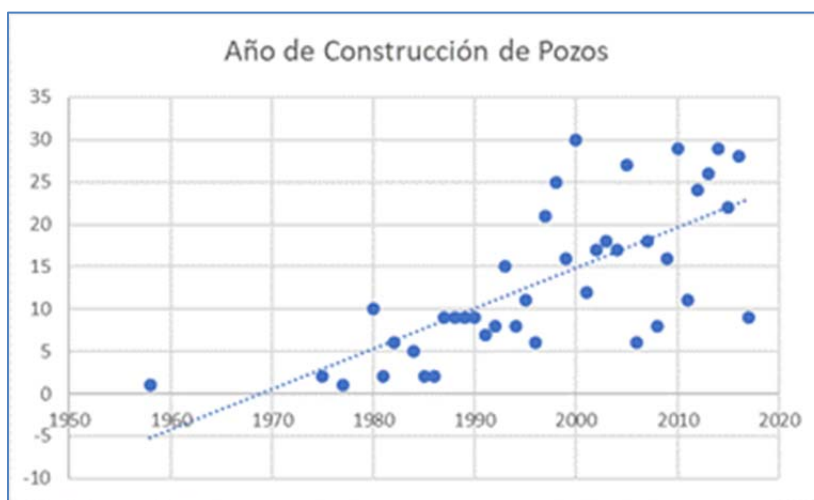


Figura nº18. Número de pozos construidos por año. Fuente: trabajos de campo para inventario

#### 10.1.2 Profundidad de los pozos

Tal y como se observa en el gráfico siguiente, las profundidades más comunes encontradas en campo oscilan entre los 60 y los 120 m.

Por lo general, los pozos de poca profundidad son pozos artesanales que no han seguido los criterios constructivos adecuados para evitar la contaminación procedente de filtraciones de aguas usadas y aguas de drenaje.

Los pozos de más profundidad suelen pertenecer a industrias o instituciones como ESSAP o SENASA.

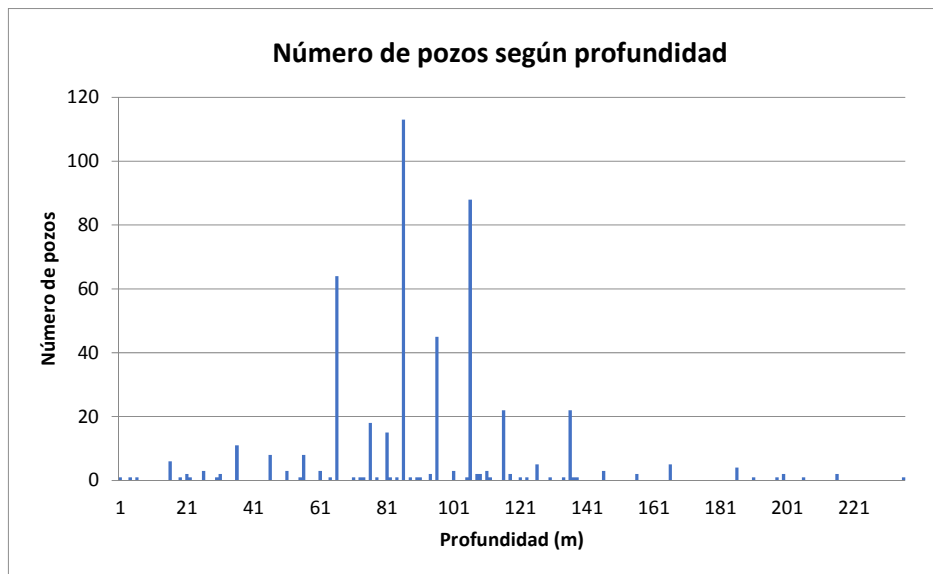


Figura nº19. Número de pozos según profundidad. Fuente: elaboración propia

En archivo digital se incluyen todas las planillas de campo de los pozos visitados y la base de datos con los datos recopilados durante el reconocimiento de campo.



## 11 CONCLUSIONES

Se han definido una serie de redes de monitoreo según el objetivo que se busca.

- Una red cuantitativa, basada en la actual red piezométrica de control
- Una red cualitativa:
  - de vigilancia
  - de nitratos
  - control de la salinidad
  - plaguicidas y pesticidas

Cada una de ellas con los parámetros que deben monitorearse, las frecuencias y la ubicación de sus puntos de control.

Se ha propuesto un protocolo de monitoreo para garantizar la representatividad de los resultados, de manera que el muestreo sea idéntico en puntos diferentes y con técnicos capacitados diferentes.

Se ha realizado una primera campaña de campo a modo de diagnóstico para conocer las necesidades y problemática que pueden surgir. Con los primeros resultados se procederá a revisar y analizar la idoneidad de las metodologías utilizadas, con el objetivo de perfeccionar los métodos de cara a la segunda campaña.

Dentro de las tareas de transmisión del conocimiento se ha realizado un taller de presentación del plan de monitoreo como herramienta para la gestión del recurso subterráneo.

### 11.1 Recomendaciones

En base a lo analizado en el Plan de Monitoreo se realizan las siguientes recomendaciones:

- Revisión periódica de la propuesta de red de monitoreo para adaptarla a las necesidades, especialmente en lo que se refiere a la red cualitativa.
- Adquisición de un equipo para la medición de sodio y potasio (espectrofotómetro de absorción atómica).

## 12 BIBLIOGRAFÍA

- Báez L, L., Cynthia, V., & Juan Pablo, N. (2014). Mapeo de la Vulnerabilidad y Riesgo de Contaminación del Agua Subterránea del Gran Asunción., 20. Retrieved from [http://opengeo.pol.una.py/descargas/Informe\\_Final\\_Politecnica\\_INV20.pdf](http://opengeo.pol.una.py/descargas/Informe_Final_Politecnica_INV20.pdf)
- Consorcio CKC-JNS. (2007). "ESTUDIO DE POLITICAS Y MANEJO AMBIENTAL DE AGUAS SUBTERRANEAS EN EL ÁREA METROPOLITANA DE ASUNCIÓN" (ACUÍFERO PATIÑO).
- European Commision. (2007). *Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive. Framework* (Vol. 428). <https://doi.org/10.1017/S0022112000002706>
- Koterba, M., Wilde, F., & Lapham, W. M. (1995). Ground-water data-collection protocols and procedures for the National Water-Quality Assessment Program: Collection and documentation of water-quality samples. *USGS Open-File Report 95-399*, 123. Retrieved from <http://www.csa.com/partners/viewrecord.php?requester=gs&collection=TRD&recid=N0238351AH>
- MOPC. (2014). Plan de Ordenamiento Territorial del Área Metropolitana de Asunción. Retrieved from [http://www.geam.org.py/v3/uploads/2015/10/Informe\\_Final\\_PEMA\\_Socio\\_Demografico-parte-1.pdf](http://www.geam.org.py/v3/uploads/2015/10/Informe_Final_PEMA_Socio_Demografico-parte-1.pdf)
- Sotomayor, F., Villagra, V., Cristaldo, G., Silva, L., & Ibáñez, L. (2013). Determinación de la calidad microbiológica de las aguas de pozo artesiano de distritos de los departamentos Central, Cordillera y municipio Capital. *Mem. Inst. Investing. Cienc. Salud*, 11(1), 5–14.
- Subcommittee on groundwater. (2013). A National Framework for Ground-Water Monitoring in the United States, (July), 168.