



FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PAMPA

TESINA PRESENTADA PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE INGENIERO EN RECURSOS NATURALES Y MEDIO AMBIENTE

**“EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA PARA
CONSUMO HUMANO EN INGENIERO THOMPSON, BUENOS AIRES”**

AUTOR: Karina Vanesa Echevarria

SANTA ROSA (LA PAMPA)

ARGENTINA

2009

PREFACIO

Esta Tesina es presentada como parte de los requisitos para optar al grado Académico de Ingeniero en Recursos Naturales y Medio Ambiente de la Universidad Nacional de La Pampa y no ha sido presentada previamente para la obtención de otro título en esta Universidad ni en otra Institución Académica. Se llevó a cabo en el Departamento de Recursos Naturales de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad Nacional de La Pampa durante el período comprendido entre el 14 de Diciembre de 2007 y el 6 de Agosto de 2009, bajo la dirección del Lic. Jorge TULLIO y bajo la codirección de la Lic. Gabriela DALMASO.

Agradecimientos

Al Lic. Jorge Tullio y a la Lic. Gabriela Dalmaso, por el tiempo dedicado y por los valiosos aportes que realizaron para llevar a cabo la presente tesina.

Al Dr. Eduardo Mariño y al Dr. René Albouy, jurados de esta tesina, por las observaciones y por las sugerencias realizadas.

A la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales por el apoyo financiero, que permitió realizar el presente estudio.

A los habitantes de la localidad de Ingeniero Thompson y a su Delegación Municipal, por la buena predisposición y colaboración que mostraron cada vez que se requirió información o se realizó la toma de muestras.

A todas las personas que aportaron información para llevar adelante la tesina.

A Maximiliano Daranzoff y a Darío Segundo que ayudaron con la confección de los mapas y a Mariana Espíndola que realizó los análisis de las muestras.

A mi familia, en especial a mi mamá y a mi papá, por su apoyo incondicional y por el cariño de siempre.

A mis amigas y amigos que están siempre a mi lado.

A mis compañeros.

6 de Agosto de 2009

Firma

Departamento Académico: Recursos Naturales

FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PAMPA

RESUMEN

El agua subterránea constituye el único recurso disponible para el abastecimiento de agua potable en aquellas regiones que carecen de fuentes superficiales. Las actividades humanas generan desechos que contaminan los recursos hídricos, siendo la contaminación con nitratos una de las principales causas del deterioro del agua subterránea. El presente trabajo evalúa la calidad del agua subterránea para consumo humano y el efecto de probables fuentes de contaminación sobre la misma, en Ingeniero Thompson. Esta localidad no posee un sistema de saneamiento cloacal, por lo que sus pobladores vierten sus aguas residuales en fosas sépticas o “pozos ciegos”. Se colectaron 58 muestras, en ellas se midió in situ conductividad eléctrica y en laboratorio, en 9 de las muestras, dureza, residuo seco, componentes químicos mayoritarios (HCO_3^- , CO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+), minoritarios y oligoelementos (F^- y As); en 33 muestras, se determinó, nitratos y nitritos y en 16 muestras se realizó análisis bacteriológico (Aerobias totales, coliformes totales, colifecales, *Escherichia coli* y *Pseudomonas aeruginosa*). El 55,5 % de las muestras excedieron los límites establecidos para dureza total, Cl y As. En el 63,6 % de las muestras se obtuvieron contenidos de nitratos que sobrepasan los límites admisibles para consumo humano y en el 100 % de las muestras se observó la presencia de coliformes totales, además de *Pseudomonas aeruginosa* en el 50 % de las mismas. Estos resultados sugieren que los sistemas de saneamiento domiciliarios son la principal fuente de contaminación del agua subterránea.

ABSTRACT

The groundwater constitutes the only resource available for potable water supply in regions that lack of superficial water sources. Human activities wastes contaminate water resources and nitrate is one of the main causes of groundwater deterioration. This thesis evaluates the groundwater quality for human consumption in Ingeniero Thompson and the impact of potential contamination sources. This town has not sewer system so inhabitants throw their waste away in septic tanks or cesspool. In this town 58 samples were collected. Electrical conductivity was measured *in situ* meanwhile TDS, hardness, major ions (HCO_3^- , CO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+), minor ions and traces elements (F^- y As) were measured in the laboratory from nine of the samples. Also in 33 samples nitrate and nitrite were measured and bacteriological analyses (total aerobics, total coliforms, *Escherichia coli* y *Pseudomonas aeruginosa*) were done in 16 of the samples. In 55.5 % of the samples hardness, Cl^- and As values obtained were higher than the guide value for human consumption. In 63.6 % of the samples nitrates content were higher than recommended for human consumption and in 100 % of the samples coliforms totals were found and also *P. aeruginosa* was present in 50 % of the samples. These results suggest that the septic tank system is the main source of groundwater contamination.

INDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivos.....	2
1.2 Ciclo del nitrógeno.....	2
a) Fijación del nitrógeno	2
b) Amonificación	3
c) Nitrificación.....	4
d) Inmovilización.....	4
e) Desnitrificación.....	4
1.3 Fuentes de nitratos en el agua subterránea.....	5
1.4 Marco legislativo	7
1.5 Enfermedades asociadas al consumo de agua contaminada	8
2. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	9
2.1 Antecedentes de la zona de estudio	10
2.2 Clima.....	11
2.2.1 Precipitaciones	11
2.2.2 Temperatura	13
2.2.3 Evapotranspiración	14
2.3 Hidrogeología	15
2.3.1 Perfil litológico	18
2.4 Geomorfología	19
2.5 Edafología.....	19
2.6 Hidrología superficial	20
2.7 Hidrología subterránea.....	20
2.8 Descripción del servicio de agua potable	21
3. METODOLOGÍA DE TRABAJO	21
3.1 Tareas realizadas.....	21
3.1.1 Tareas de gabinete:	21
3.1.2 Tareas de campo:	22
3.2. Parámetro físico-químico medido in situ.....	23
3.3 Determinaciones Analíticas en laboratorio.....	23
3.4 Elaboración y tratamiento de los datos	25
3.5 Tiempo de tránsito del contaminante en la zona no saturada	25

3.6 Tiempo de tránsito del contaminante en la zona saturada	27
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	27
4.1 Aspectos hidráulicos	27
4.2 Aspectos hidroquímicos.....	28
4.2.1 Caracterización hidroquímica	28
4.2.2 Contaminación con nitratos	30
4.3 Contaminación bacteriológica	33
4.4 Tiempo de tránsito de los contaminantes en la zona no saturada y saturada.....	35
5. CONCLUSIONES	36
6. RECOMENDACIONES	37
BIBLIOGRAFÍA	38
ANEXO I	43

1. INTRODUCCIÓN

El agua es un elemento vital para el desarrollo de las sociedades humanas y los ecosistemas naturales.

De la superficie total de la Tierra, un poco más del 70 % está ocupada por agua. Sin embargo, menos del 3 % es agua dulce y sólo el 0,5 % se encuentra almacenada en el subsuelo.

El agua subterránea constituye el único recurso disponible para el abastecimiento de agua potable en aquellas regiones que carecen de fuentes superficiales. El aumento creciente de la población y la consecuente ocupación del espacio, han generado alteraciones en la cantidad y calidad del recurso hídrico. A fines del siglo XX, la población mundial creció a más de 6.000 millones, la industria alcanzó un gran desarrollo y la agricultura casi sin excepción, utiliza plaguicidas y fertilizantes para mejorar los rendimientos (Auge, 2006). Ese crecimiento general ha producido un incremento en la demanda de agua y consecuentemente, la disponibilidad per cápita está declinando.

Las actividades humanas generan desechos de origen industrial, agropecuario y urbano que, si no son convenientemente tratados, contaminan los recursos hídricos.

Según Auge (2004) la contaminación es la alteración de las propiedades físicas, químicas y/o biológicas del agua por acción de procesos naturales o artificiales que producen resultados indeseables.

Generalmente, se carece de un diagnóstico precoz del deterioro, debido a las heterogeneidades inherentes al sistema subsuperficial, que son difíciles de detectar y por lo común sólo se conoce la contaminación cuando afecta a los abastecimientos de agua frecuentemente, cuando ya es demasiado tarde (Dalmaso *et al.*, 2007). Es por ello, que existe una necesidad urgente de mejorar el conocimiento sobre los impactos que generan fuentes potencialmente contaminantes del recurso.

La contaminación con nitratos se ha convertido en una de las causas principales del deterioro del agua subterránea, tanto en países desarrollados, como en países en vías de desarrollo. Las principales fuentes de nitratos que afectan la calidad del agua, están relacionadas con la actividad antrópica, ya sea en ámbitos urbanos a través de pozos ciegos ó en aquellas ciudades con servicios cloacales que poseen pérdidas en las redes (Auge & Nagy, 1996; Blarasín *et al.*, 1999; Perdomo *et al.*, 2001; Rocha & Baudino, 2002; Saracho *et al.*, 2005), la industria (Dalmaso *et al.*, 1999); y en ámbitos rurales por el uso de fertilizantes (Lavado *et al.*, 2002) ó la cría intensiva de animales (Herrero, 2006).

En este contexto, es necesario desarrollar políticas orientadas a preservar la calidad del agua subterránea, detectar, controlar y mitigar las causas que originan su deterioro.

1.1 Objetivos

Los objetivos del presente trabajo son:

- Evaluar la calidad del agua subterránea para consumo humano del acuífero libre que se explota para el abastecimiento urbano de la localidad de Ingeniero Thompson.
- Evaluar el efecto de probables fuentes de contaminación existentes en la localidad.
- Tratar de suministrar las bases para la elaboración de alternativas de gestión y monitoreo por parte de los organismos pertinentes, para un mejor tratamiento de estos problemas.

1.2 Ciclo del nitrógeno

El nitrógeno puede existir en muchas formas en el ambiente. El movimiento y transformación de sus compuestos a través de la biosfera puede ser caracterizado por el ciclo del nitrógeno (Canter, 1997), (Figura 1).

El nitrógeno es un elemento abundante en la atmósfera, constituyendo aproximadamente el 78 % del total de los gases atmosféricos. Es un elemento diatómico, que a temperatura y presión normal, se encuentra en estado gaseoso en la atmósfera. Desde el punto de vista de la química inorgánica, el nitrógeno puede existir en siete estados de oxidación: (-III, 0, I, II, III, IV y V). Debido a que los estados I, II y IV tienen poca significancia en los procesos biológicos, la química del nitrógeno de interés para el medio ambiente, puede resumirse en cuatro estados de oxidación: -III, 0, III y V. (Pacheco *et al.*, 2002).

A pesar de su abundancia, pocos organismos son capaces de absorberlo directamente para utilizarlo en sus procesos vitales. El triple enlace que une los dos átomos de nitrógeno necesita de una gran energía para romperse y sólo unos cuantos microorganismos pueden utilizarlo de forma directa recurriendo a una reacción química denominada fijación del nitrógeno.

a) Fijación del nitrógeno

Según Canter (1997) este proceso se puede originar por la acción de microorganismos, a través de la fijación biológica y en menor medida por procesos atmosféricos, como consecuencia de la fijación atmosférica.

Algunos procesos industriales, como la fabricación de fertilizantes y otros agroquímicos, también producen fijación del nitrógeno (Canter, 1997).

a.1) Fijación atmosférica: producida durante las tormentas eléctricas. La energía contenida en un relámpago rompe las moléculas de nitrógeno y éste se combina con el oxígeno del aire. Grandes cantidades de nitrógeno son oxidadas a N_2O_5 y su unión con el agua produce Acido Nítrico (HNO_3), el cual es llevado a la superficie de la tierra con la lluvia (Pacheco *et al.*, 2002).

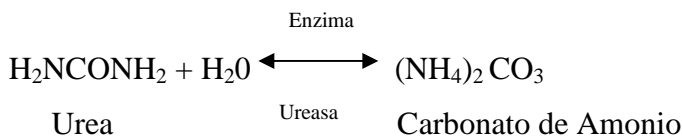
a.2) Fijación biológica: Este mecanismo es realizado por la acción de algunas cianobacterias, por bacterias de vida libre y por bacterias simbióticas de algunas plantas, como es el caso de *Rhizobium* que vive en los nódulos de ciertas leguminosas (alfalfa, trébol, soja, entre otras). Estos organismos son capaces de tomar nitrógeno atmosférico y convertirlo en compuestos asimilables por las plantas.

La reacción resumida es: $N_2 + 3H_2 \rightleftharpoons 2NH_3$

De esta forma es incorporado a los tejidos de las plantas. Debido a la ingestión de los vegetales, el nitrógeno orgánico se incorpora a todos los seres vivos a través de la cadena alimentaria (Díaz, 1985).

b) Amonificación

Este proceso involucra el cambio de nitrógeno orgánico a amonio (NH_4^+). En general ocurre durante la descomposición de tejidos vegetales y animales y de la materia fecal animal (Canter, 1997). El nitrógeno, también, existe en la orina principalmente como urea, la cual es hidrolizada rápidamente por la enzima ureasa a Carbonato de Amonio.



Así, retornan al suelo donde sufren una serie de transformaciones.

c) Nitrificación

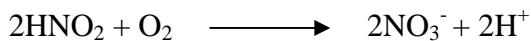
Esta reacción implica la oxidación biológica del ión amonio a nitrito (NO_2^-) y luego a nitrato (NO_3^-) por microorganismos que utilizan el oxígeno como oxidante. Mediante este proceso los organismos obtienen energía.

Se divide en dos etapas:

c.1) Nitrosación: es la transformación del ión amonio a nitrito, a través de bacterias del género *Nitrosomonas*.



c.2) Nitratación: es la conversión de nitrito a nitrato, por medio de bacterias del género *Nitrobacter*.



Ambas bacterias son autótrofas, es decir que utilizan la energía de las reacciones químicas inorgánicas y aerobias estrictas, necesariamente necesitan oxígeno molecular para oxidar compuestos orgánicos.

Debido a que el paso de nitrito a nitrato es mucho más rápido que el paso de amonio a nitrito, la concentración de nitrito suele ser muy baja. El suelo, desde el punto de vista iónico, se comporta básicamente como un intercambiador de cationes, y por lo tanto el ión amonio se adsorbe en las posiciones de intercambio iónico de las arcillas y de la materia orgánica, mientras que el ión nitrato, debido a su condición aniónica no lo hace, y es fácilmente arrastrado por el agua (Varela *et al.*, 1993).

d) Inmovilización

Es el proceso por medio del cual las formas inorgánicas (NH_4^+ y NO_3^-) son convertidas a nitrógeno orgánico y por lo tanto no son asimilables.

e) Desnitrificación

Es un proceso de reducción biológica del nitrito o nitrato a nitrógeno gaseoso (Canter, 1997). Esta reacción se produce en condiciones anaeróbicas. Los microorganismos, utilizan nitrito o nitrato como fuente de oxígeno, en lugar de oxígeno molecular. Esto ocurre con frecuencia en suelos anegados.

1.3 Fuentes de nitratos en el agua subterránea

El ión nitrato es un elemento que se encuentra naturalmente en el agua subterránea. En la actualidad, se han llevado a cabo numerosas investigaciones a fin de determinar el fondo natural o línea de base del nitrato, entendiéndose como tal “aquellas condiciones físico-químicas propias del agua que se derivan de procesos puramente naturales” (Manzano *et al.*, 2003). Según Canter (1997) un valor de 3 mg/l se considera la concentración aproximada por encima de la cual la actividad humana contribuye con los compuestos del nitrógeno al agua subterránea. Sin embargo, este valor puede variar según el área estudiada. Bonorino *et al.* (1999) hallaron una concentración natural de nitratos de 12,6 mg/l, para la zona periserrana de las sierras australes, atribuible principalmente a la mineralización de la materia orgánica en el suelo. Rocha & Baudino (2002), citan un valor de fondo de 8,8 mg/l para acuíferos de la región de Salta.

El hombre, a través de sus actividades, genera alteraciones en el ciclo natural del nitrógeno, produciendo un desbalance en las entradas y salidas del mismo. A continuación se detallan las fuentes de aportes de nitratos relacionadas a la actividad antrópica:

- **Prácticas Agrícolas:** El uso de fertilizantes es una fuente importante del exceso de nitratos en aguas subterráneas, ya que se ha registrado relación directa entre el exceso de fertilizantes y el riesgo de lixiviación (Lavado *et al.*, 2002).
- **Prácticas Ganaderas:** El manejo de grandes cantidades de animales, principalmente en confinamiento (feed-lot), produce fuentes puntuales de contaminación. Los animales devuelven al sistema entre el 70 y el 80 % del nitrógeno ingerido, principalmente por orina, pero también por heces, permaneciendo una escasa proporción en los subproductos (carne, leche, etc.). El nitrógeno de la orina en parte se volatiliza como amoníaco, el resto es transformado en nitrato, el cual si no es utilizado por las plantas, se lixivía fácilmente (Herrero, 2006).
- **Industrias:** La contaminación a partir de industrias es importante, ya que los nitratos son empleados como materia prima por muchas de ellas. Son utilizados en la fabricación de explosivos, como agentes oxidantes en la industria química y en la preservación de los alimentos (OMS, 1987).

En un estudio realizado por Dalmaso *et al.* (1999), en el Norte de la ciudad de General Pico, La Pampa, se encontró que en 11 de las 39 muestras de agua extraídas de perforaciones, el valor de nitratos era superior al admitido para

consumo humano. Tal contaminación se supone originada por los vertidos de aguas residuales, de una industria frigorífica instalada en el área.

- **Saneamiento “In Situ” y Pérdidas de la Red Cloacal:** Diferentes trabajos han evidenciado la contaminación que se genera por desechos cloacales tanto a partir de sumideros domiciliarios como por roturas de la red cloacal. Estudios realizados por Auge & Nagy (1996) en La Plata y Saracho *et al.* (2005) en la ciudad de Catamarca, revelan que los altos contenidos de nitratos encontrados en el agua subterránea provienen de pérdidas en la red de desagües cloacales y del aporte de pozos ciegos. Por otra parte, en sectores no tan densamente poblados pero con asentamientos urbanos que carecen de red cloacal como en Río Cuarto (Blarasín *et al.*, 1999) y en la ciudad de Salta (Rocha & Baudino, 2002), también se observaron altas concentraciones de nitratos en el recurso hídrico subterráneo.
- **Depósitos y Vertederos de Basura:** A medida que los residuos se descomponen o biodegradan, desprenden sustancias tóxicas contaminantes originando lixiviados, los cuales pueden migrar formando una pluma contaminante y llegar a los cursos de agua superficiales y/o subterráneos (Pomposiello *et al.*, 2005). Entre esas sustancias tóxicas se encuentran las especies iónicas del nitrógeno, entre otros tipos de contaminantes. En las cercanías de los basureros, se crean zonas reductoras y predominan las iones amonio, mientras que a una mayor distancia del mismo, hay un aumento en las concentraciones de nitratos, que indican un medio oxidante (González *et al.*, 2003; Martínez, *et al.*, 2003).

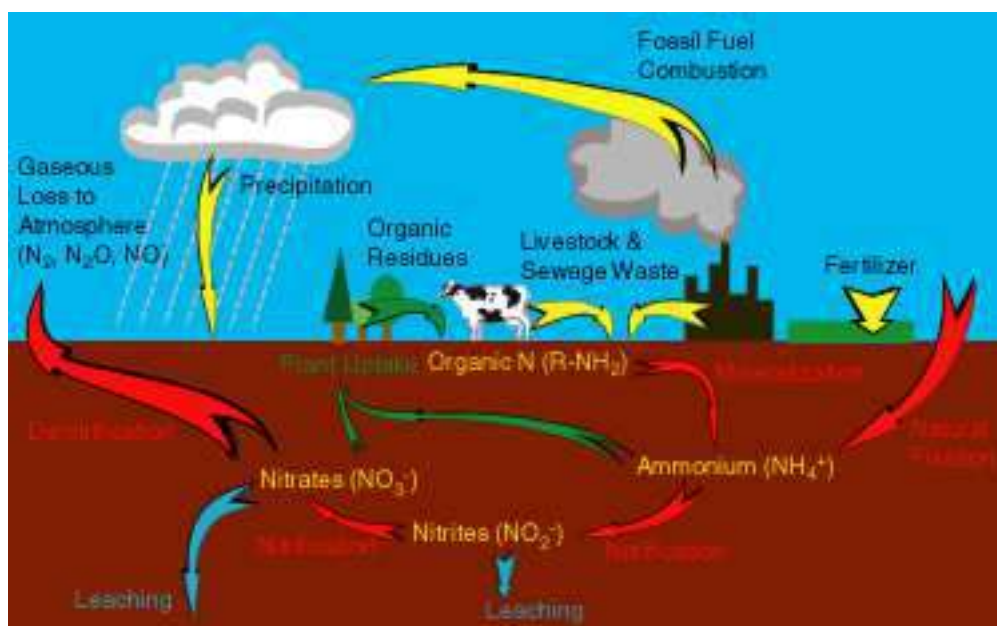


Figura 1. Ciclo del nitrógeno

1.4 Marco legislativo

Existen diversas normas internacionales, nacionales y provinciales de calidad, que establecen los valores admisibles de diferentes elementos y/o microorganismos en el agua para consumo humano y otros usos. Así, se puede afirmar la potabilidad química cuando las concentraciones de sus elementos satisfagan las condiciones fijadas para ellos y la potabilidad bacteriológica cuando el agua esté exenta de bacterias patógenas (Custodio & Llamas, 1983).

La Organización Mundial de la Salud (WHO, 2004) fija como límite máximo permitido para agua de bebida el de 50 mg/l de nitratos y 3 mg/l de nitritos para períodos cortos y 0,2 mg/l para períodos largos de exposición a este compuesto. Este último valor es provisional debido a la incertidumbre de las observaciones, en relación a los efectos adversos sobre la salud humana, comparada con animales. De la misma forma, la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (1987) establece tenores de 10 mg/l expresados en términos de N-NO₃ y 1 mg/l de N-NO₂ y el Código Alimentario Argentino (2007) adopta los valores de 45 mg/l para nitratos y 0,1 mg/l para nitritos.

En el presente trabajo, se tendrán en cuenta las concentraciones máximas establecidas para ingesta humana, en el Anexo I de la Ley N° 11.820 de la Provincia de Buenos Aires, la cual fija el límite de 50 mg/l de nitratos y 0,1 mg/l para nitritos.

En cuanto a las características microbiológicas del agua para consumo humano, la WHO (2004) considera que las coliformes totales deben estar ausentes inmediatamente después de la desinfección y la presencia de estos microorganismos indica un inadecuado tratamiento del sistema de distribución de agua. Según la OMS, las coliformes totales incluyen organismos que pueden vivir y crecer en el agua. Por lo tanto, éstas no son útiles como indicadoras de patógenos fecales, pero pueden ser usados como indicadoras de la desinfección de los sistemas de distribución de agua.

La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (1987), establece que en un mes dado, no pueden detectarse más de 5 % de muestras con coliformes totales positivas. Toda muestra que presente coliformes totales debe analizarse para saber si presenta *Escherichia coli* o coliformes fecales, a fin de determinar si hubo contacto con heces fecales humanas o de animales.

El Código Alimentario Argentino (2007), determina que el total de bacterias coliformes debe ser menor o igual a 3 NMP (número más probable) en 100 ml y la Ley N° 11.820 de la Provincia de Buenos Aires, establece un valor menor a 2,2 NMP en 100 ml para coliformes totales.

En relación a *E. coli* y *Pseudomonas aeruginosa*, las citadas normas coinciden en que estas bacterias deben estar ausentes en 100 ml.

1.5 Enfermedades asociadas al consumo de agua contaminada

Las enfermedades relacionadas con el uso de agua contaminada pueden dividirse en aquellas causadas por agentes biológicos (organismos patógenos) y las que son producidas por sustancias químicas (Lewis *et al.*, 1988).

- Organismos patógenos

Coliformes Totales (incluye coliformes fecales y *E. coli*): Por si mismo, las coliformes no constituyen una amenaza para la salud, su determinación se utiliza para indicar si pudiera haber presentes otras bacterias posiblemente nocivas.

Las coliformes se presentan naturalmente en el medio ambiente pero las coliformes fecales y *E. coli* provienen de heces fecales animales y humanas, por lo que su presencia en el agua indica una reciente contaminación fecal (EPA, 1987; WHO, 2004). Los microbios que provocan enfermedades (patógenos) y que están presentes en las heces, causan diarrea, retorcijones, náuseas, cefaleas u otros síntomas. Estos patógenos podrían representar un riesgo de salud muy importante para bebés, niños pequeños y personas con sistemas inmunológicos gravemente comprometidos (EPA, 1987).

Pseudomonas aeruginosa: es un organismo que se halla comúnmente en el ambiente. Se puede encontrar en el suelo, las heces, el agua y en aguas residuales. Puede causar una variedad de infecciones, pero raramente causa serias enfermedades en individuos sanos, sin ningún factor de predisposición.

La principal ruta de infección es por la exposición de tejidos susceptibles, heridas y membranas mucosas, al agua contaminada o a instrumentos quirúrgicos contaminados (WHO, 2004).

-Sustancias Químicas

En el presente trabajo se tendrán en cuenta las enfermedades relacionadas a la ingesta de agua con elevadas concentraciones de nitratos.

Metahemoglobinemia ó enfermedad del “bebé azul”: El nitrato es reducido a nitrito en el estómago de los infantes y éste es capaz de oxidar la hemoglobina en metahemoglobina, la cual no puede transportar oxígeno a través del cuerpo (WHO, 2004). Para que el oxígeno sea aceptado y por ende transportado, el átomo de hierro que se

encuentra formando parte del grupo hemo de la hemoglobina, debe estar en estado de oxidación ferroso (Fe^{+2}) o forma ferrohemoglobina. Sin embargo, este átomo de hierro, también puede estar en estado de oxidación férrico (Fe^{+3}) o forma ferrihemoglobina, también conocida como metahemoglobina (Fernández, 2005). El nivel normal de metahemoglobina en infantes menores a 3 meses de edad, debe ser inferior al 3 %; los bebés manifiestan esta enfermedad, cuando las concentraciones de metahemoglobina alcanzan el 10 % o más de la hemoglobina normal, causando cianosis o asfixia cuando las concentraciones son mayores (WHO, 2004).

Los bebés son más susceptibles que la población adulta a adquirir esta enfermedad, debido a que poseen mayor proporción de hemoglobina fetal, que se oxida a metahemoglobina. Además, existe en los infantes, una deficiencia de metahemoglobina reductasa, la enzima responsable de la reducción de metahemoglobina a hemoglobina. La reducción de nitrato a nitrito por bacterias gástricas, es más alto en bebés, a causa de la baja acidez gástrica (WHO, 2004).

Si bien, el nivel de nitratos en la leche materna es bajo, el riesgo en los infantes aumenta, cuando son alimentados con mamaderas, al consumir agua con elevados contenidos de nitratos.

Carcinogénesis: Los nitritos (e indirectamente los nitratos), pueden reaccionar con aminos y amidas para formar nitrosaminas y nitrosamidas. Se ha comprobado que la mayoría de estos compuestos son carcinogénicos en un gran número de especies animales. Las evidencias epidemiológicas, sugieren que la abundante ingestión de nitratos puede contribuir al surgimiento de cáncer gástrico (Lewis *et al.*, 1988).

2. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

La zona de estudio comprende la localidad de Ingeniero Thompson, Partido de Tres Lomas. El mismo se halla ubicado en el centro Oeste de la Provincia de Buenos Aires, limitando con los Partidos de Trenque Lauquen al Noreste, Salliqueló al Suroeste, Guaminí al Sureste y Pellegrini al Noroeste (Figura 2).

En la actualidad, cuenta con una población de 142 habitantes (Maina, comunicación personal). Sin embargo, llegó a tener un máximo de 800 habitantes, por lo que existen pozos ciegos y perforaciones domiciliarias en desuso.

Es una zona agrícola-ganadera, predominando los cultivos de girasol, maíz, soja, trigo y alfalfa. La actividad industrial es prácticamente nula.

La localidad posee servicio de agua potable desde Septiembre del año 2007. El mismo, es suministrado por el S.P.A.R (Servicio Provincial de Agua Potable y Saneamiento Rural). No cuenta con un sistema de saneamiento cloacal, por lo que sus pobladores vierten sus aguas residuales en fosas sépticas o pozos negros.

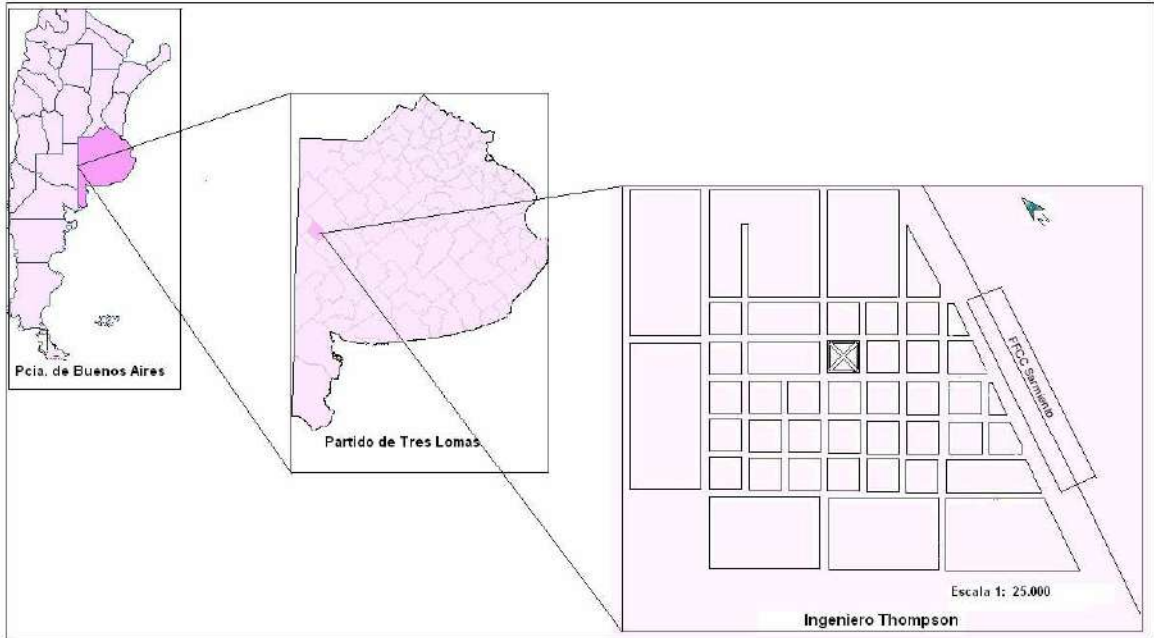


Figura 2. Ubicación del área de estudio

2.1 Antecedentes de la zona de estudio

En la localidad de Ingeniero Thompson existen escasos trabajos destinados al estudio de la calidad del agua subterránea para consumo humano. Los mismos se limitan a análisis, realizados por el S.P.A.R, para determinar la calidad del agua de la perforación de abastecimiento de agua potable. Sin embargo, en el Partido de Salliqueló, Arias *et al.* (2000) realizaron un estudio integral de los recursos hídricos, el cual se ha tomado como referencia para la presente tesina, debido a la similitud en las características climáticas, geomorfológicas, edafológicas y geológicas de la región y a la cercanía de la localidad de Ingeniero Thompson con la ciudad de Salliqueló (22 Km. en dirección Sur). Por el mismo motivo, se han considerado datos aportados por el S.P.A.R, de la ciudad de Tres Lomas, distante del área de estudio, 20 Km. en dirección Norte.

Existen registros de análisis de agua realizados por el Comité de Investigaciones de Aguas Subterráneas (plan C.I.A.S), del levantamiento de Malán (1969), en establecimientos rurales cercanos a la localidad. Estos estudios, evidencian una degradación del agua subterránea para consumo humano, por elevados contenidos de nitratos, flúor y dureza. En los años 1968-1969, el C.I.A.S realizó un perfil esquemático longitudinal sismográfico, basado en 13 registros, que incluye a Ingeniero Thompson.

2.2 Clima

Según la clasificación climática de Thornthwaite (1948), el clima de la zona es subhúmedo seco, mesotermal.

La ausencia de estaciones meteorológicas en la localidad de Ingeniero Thompson, ha condicionado el análisis de las variables climáticas. Por tal motivo, se han considerado los datos de temperatura y evapotranspiración obtenidos por Arias *et al.* (2000) y Vives *et al.* (2002) para la ciudad de Salliqueló, por ser la más cercana al área de estudio y con disponibilidad de información. Se generó una serie discontinua de datos teniendo en cuenta los períodos 1983-1996 y 2000-2007.

La pluviometría media anual para el período 1939-2007 en Ingeniero Thompson, se calculó en base a registros obtenidos en un establecimiento rural cercano a la localidad, a través de un pluviómetro no normalizado.

2.2.1 Precipitaciones

La precipitación media anual para el período 1939-2007, en Ingeniero Thompson es de 786,2 mm. Desde principios de la década del 80', las precipitaciones han estado por encima de la media anual, debido principalmente a la ocurrencia de un ciclo de años húmedos, que se mantuvo hasta el año 2001.

En la figura 3, pueden observarse las precipitaciones para ese intervalo, en la localidad y el módulo pluviométrico anual calculado.

El mayor registro de lluvias se produjo en el año 2001, con 1410 mm, representando un 79 % por encima de la media y el menor registro, se observa en el año 1962, con 384 mm, con un 49 % de la media anual.

Las lluvias ocurridas en el año 2001, concentradas principalmente en los meses de Octubre a Diciembre, produjeron inundaciones en las cercanías de la localidad, como puede observarse en las fotos 1 y 2 del Anexo I, lo que provocó un ascenso de los niveles freáticos, llegando incluso hasta el nivel del terreno en muchos sectores de la región.

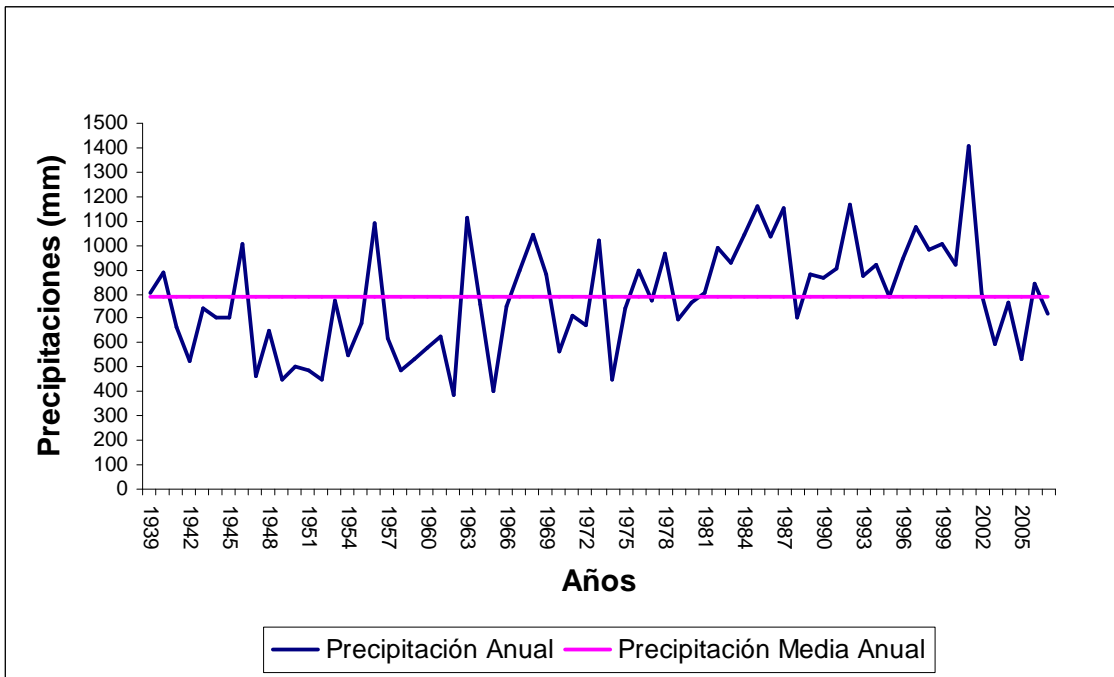


Figura 3. Precipitaciones anuales y media histórica en Ingeniero Thompson. Serie 1939-2007

En la figura 4 se representan los datos de las precipitaciones medias mensuales para el período 1939-2007. En la misma, puede observarse la ocurrencia de inviernos secos y veranos húmedos, siendo Marzo, el mes donde se presentan las mayores precipitaciones y Julio, el mes con menor registro.

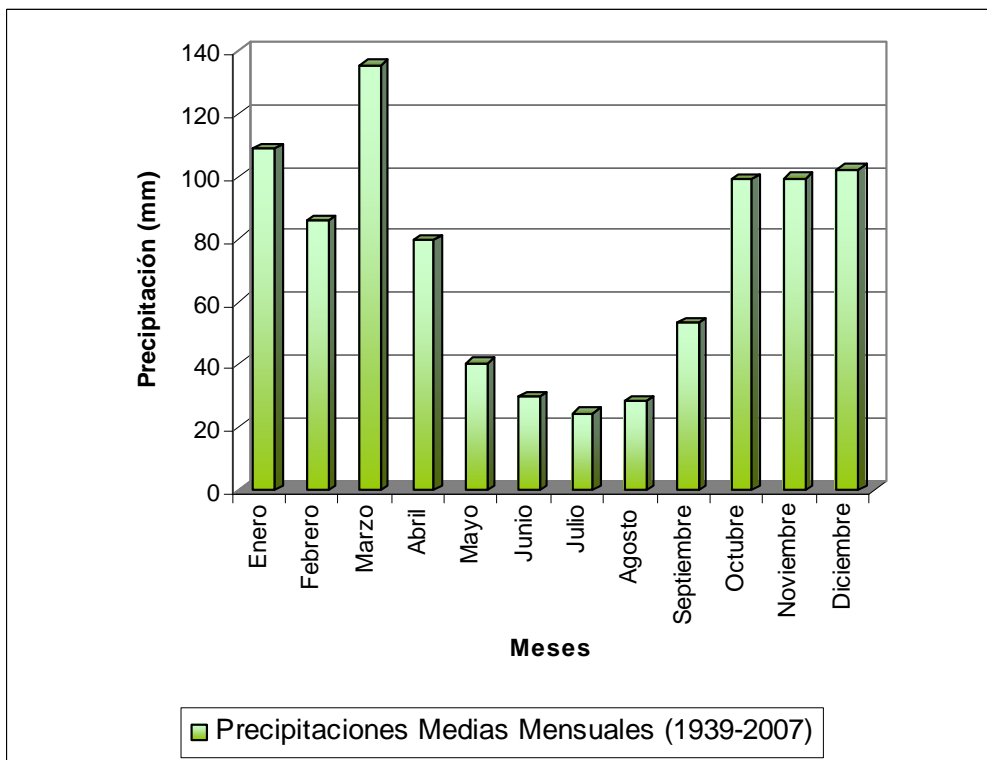


Figura 4. Precipitaciones medias mensuales en Ingeniero Thompson. Serie 1939-2007

En la figura 5 se presentan las precipitaciones anuales ocurridas en la localidad de Salliqueló para el período 1939-2005. La media anual es de 767,5 mm.

De la comparación de las figuras 3 y 5 surge que para el mismo período, se registran sólo 18,7 mm de diferencia entre las dos localidades. La finalidad de esta comparación, es mostrar la similitud que existe en las variables climáticas de la región.

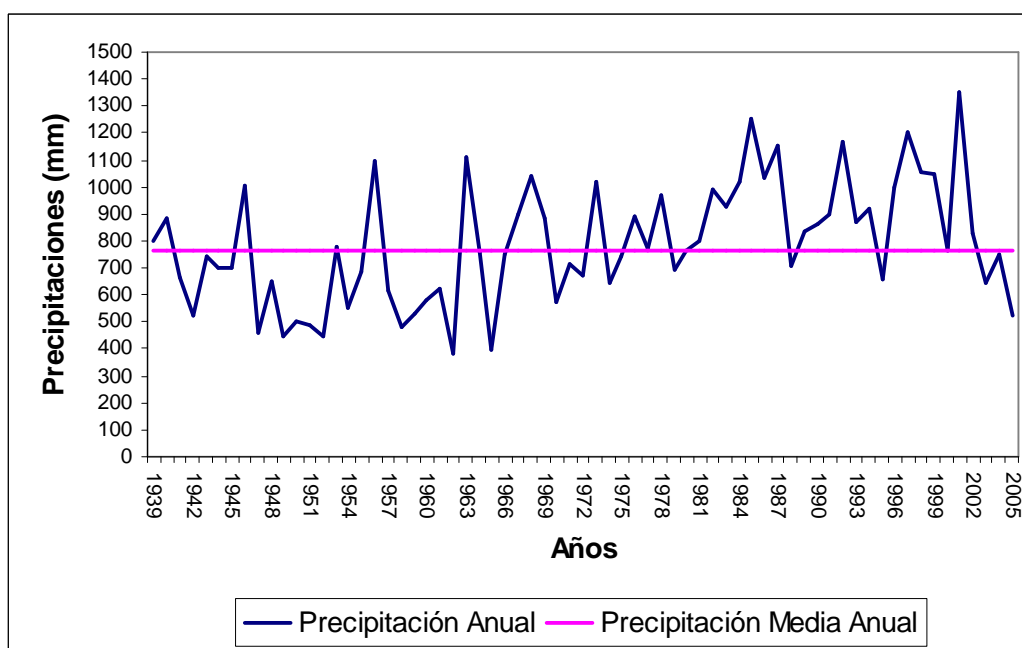


Figura 5. Precipitaciones anuales y media histórica en Salliqueló. Serie 1939-2005

2.2.2 Temperatura

Según registros citados por Arias *et al.* (2000), en Salliqueló, la temperatura media anual para el período 1983-1996, es de 15,5 °C, siendo Enero el mes que presenta la máxima temperatura media mensual con 22,6 °C y el mes de Julio, la mínima, con 8,7 °C.

Según información suministrada por el S.P.A.R, la temperatura media anual para el período 2000-2007, en Salliqueló, es de 14,8 °C. En la figura 6, se puede observar, que la mayor temperatura media mensual se registró en el mes de Enero con 22,5 °C y la menor, en el mes de Julio con 7,2 °C. Estos datos coinciden con los citados para el período 1983-1996.

Las heladas se producen en los meses de abril a octubre, aunque es posible que se registren hasta el mes de Noviembre.

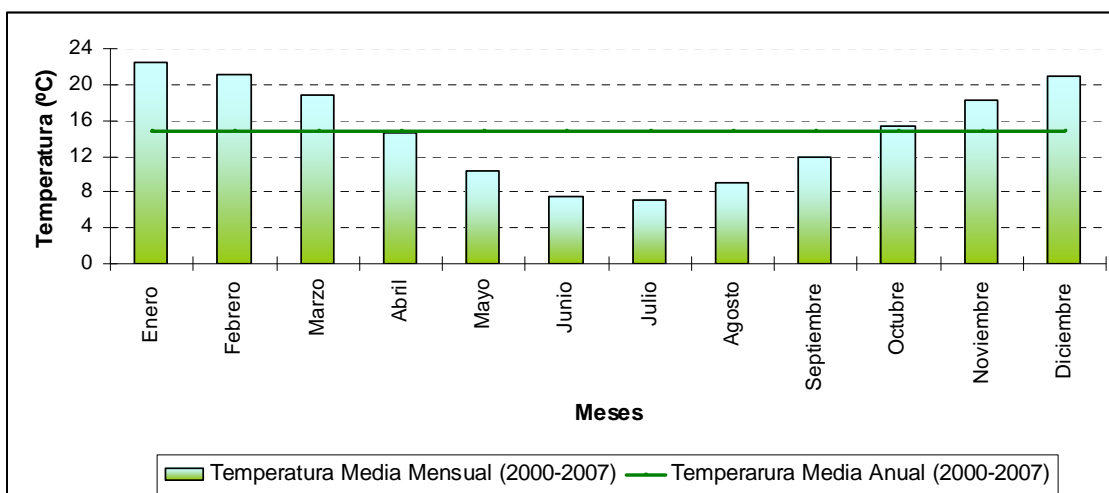


Figura 6. Temperatura media mensual y anual para Salliqueló. Serie 2000-2007

2.2.3 Evapotranspiración

Como se mencionó anteriormente, no se dispone de datos de temperatura para la localidad de Ingeniero Thompson. Es por ello, que se utilizaron los datos de evapotranspiración para la ciudad de Salliqueló, los cuales se han extraído de Vives *et al.* (2002). Estos autores obtuvieron, según la fórmula de Thornthwaite, una evapotranspiración potencial (ETP) media anual de 787 mm, para el período 1983-1996. Los meses de diciembre, enero y febrero presentaron déficit hídrico (Figura 7). Para la estimación de la evapotranspiración real (ETR) zonificaron el partido de Salliqueló de acuerdo a las características del suelo y su cobertura vegetal. Definieron la profundidad radicular en base a los siguientes usos del suelo: pastura y/o cereal 1,05 m, pasto llorón 1,3 m, rastrojo 1,17 m y campo natural 0,80 m. Los tipos de suelo definidos fueron: arenoso, franco arenoso y franco. Poniendo en práctica esta metodología, obtuvieron valores de ETR que varían entre los 760 y 780 mm.

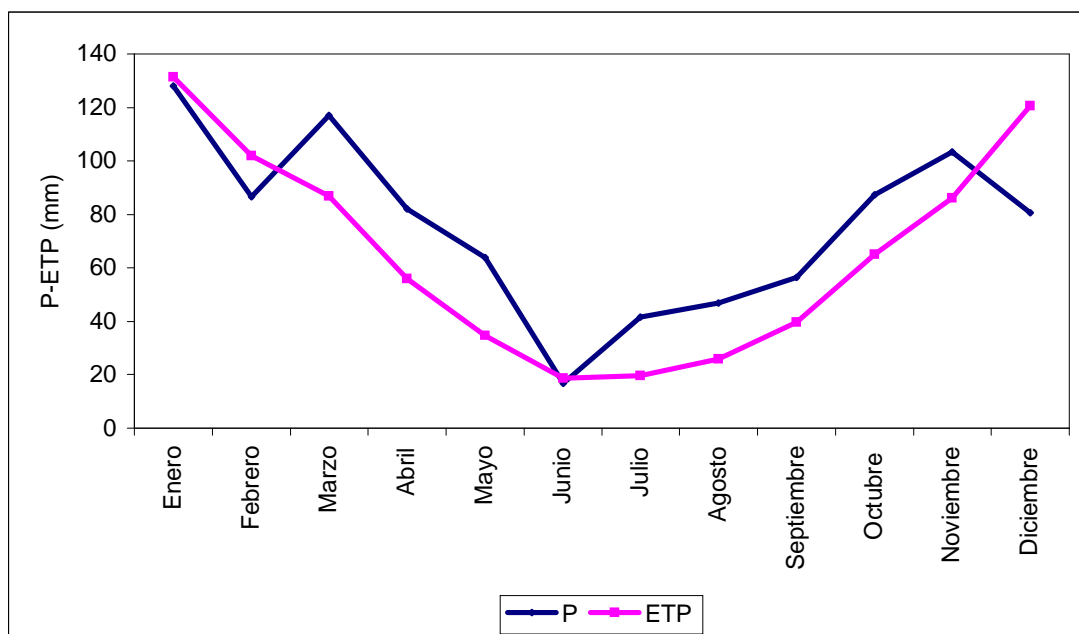


Figura 7. Precipitación y ETP mensual. Salliqueló. Serie 1983-1996. Fuente: Vives *et al.* (2002)

En función de los datos disponibles de temperatura para la ciudad de Salliqueló, es posible calcular la evapotranspiración potencial para el periodo 2000-2007, mediante el método propuesto por Thornthwaite (1948). A partir de esta fórmula se obtuvieron los siguientes datos de ETP (Tabla 1).

Tabla 1. Evapotranspiración potencial media (mm). Salliqueló. Serie 2000-2007

ETP	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total
Potencial	131,2	101,4	87,2	53	30	17,1	17	25,7	42,1	68,2	91,6	120,4	784,9

La evapotranspiración potencial anual fue calculada en 784,9 mm, el máximo valor se registró en el mes de Enero con 131,2 mm y el menor en el mes de Julio, con 17 mm.

2.3 Hidrogeología

Auge (2004) dividió a la República Argentina en 18 regiones hidrogeológicas. Ello, de acuerdo a cuatro factores que son los que ejercen mayor influencia en el comportamiento hidrológico subterráneo, los cuales son: geología, geomorfología, clima y el factor biológico. Según la clasificación realizada por este autor, la localidad de Ingeniero Thompson se halla incluida en la llanura Chaco-Pampeana árida, en la provincia de Buenos Aires. La diferenciación de ambientes hidrogeológicos en esta Provincia fue realizada sobre la base de los factores geológicos y geomorfológicos, los cuales ejercen mayor incidencia en el agua subterránea, pues los factores climáticos y biológicos poseen menor influencia debido a su uniformidad.

A continuación se reproducen de Auge (2004) las características geológicas regionales del subsuelo para el Noroeste de la Provincia de Buenos Aires, donde se encuentra incluida la localidad motivo de estudio.

Esta zona comprende el ámbito limitado por el Río Salado al NE y por las cuencas del Arroyo Vallimanca y las lagunas Encadenadas al SO; ocupa unos 75.000 km² y se caracteriza por ser una región arreica, salvo los cursos citados. Otra característica distintiva es la presencia de médanos en el 75 % de su superficie, los que actúan en forma disímil.

En superficie se presenta el *Postpampeano*, también conocido como Sedimentos Postpampeanos, incluye a una serie de unidades geológicas de diferente extensión, origen y características que se desarrollan a partir del Holoceno.

Está formado por arenas finas y limos arenosos de tonalidad castaña y origen eólico. Tiene escasa manifestación vertical, con el mayor espesor registrado hasta el momento en Salliqueló (20 m). Esta unidad es la de mayor interés hidrogeológico, pues a los médanos se asocian las lentes de agua dulce, única fuente de abastecimiento de las ciudades más importantes de la región. También al postpampeano corresponden los limos-arcillosos del fondo de las depresiones (cubetas de deflación) especialmente de las lagunas permanentes.

La unidad medanosa ejerce un notorio control en el comportamiento hidrogeológico, tanto superficial como subterráneo, de la región.

En relación al agua subterránea, la elevada permeabilidad de los médanos favorece la infiltración y por lo tanto la recarga, lo que deriva en lentes de agua freática de baja salinidad, vinculadas a cuerpos medanosos. Estas lentes de agua dulce, que no sólo se emplazan en los médanos sino también en la sección superior de la formación subyacente (Pampeano), constituyen la única fuente segura de agua potable a la mayoría de las localidades del oeste y noroeste de la Provincia de Buenos Aires.

Le seguiría el *Pampeano*: Dentro de él se distinguen dos subunidades en virtud de sus diferencias litológicas que influyen en la salinidad del agua subterránea. La más moderna (Pampeano), constituida por limos arenosos con CaCO₃ en forma de tosca y la más antigua (Araucano), formada por areniscas arcillosas y arcillas yesíferas.

El pampeano está formado por limos arenosos finos, algo arcillosos, castaño rojizos, con concreciones calcáreas, también de origen eólico pero en forma de loess. Corresponde al Pleistoceno.

Presenta continuidad en toda el área estudiada, con variaciones de espesor poco significativas.

Hidrogeológicamente, actúa como acuífero de media productividad siendo, por su granulometría y empaquetamiento, menos permeable que el Postpampeano arenoso. La intercalación de algunos niveles arcillosos (acuitardos) de poco espesor, le otorgan un confinamiento parcial (semiconfinamiento) que se incrementa con la profundidad. La salinidad, al igual que el Postpampeano, manifiesta una acentuada zonación lateral y vertical. La primera debido al flujo y a la variación litológica de los sedimentos portadores y la restante, por diferencia en la densidad del agua y por cambios litológicos. Por ello, la sección superior es la que posee menor contenido salino, fundamentalmente cuando está cubierta por médanos, debido a la recarga proveniente de los mismos.

Por debajo se distingue el **Araucano**, el cual está integrado por areniscas arcillosas, castaño claras, con cemento calcáreo y abundante yeso, con intercalaciones de arcillas de tonalidades rojizas. De origen lagunar, pertenece al Plioceno.

Hidrogeológicamente, se comporta como acuífero de baja productividad y en partes, como acuitardo, debido a su granulometría predominantemente fina. El rendimiento varía entre 0,05 y 0,1 m³/h.m. El incremento salino en profundidad, su constitución arcillosa y la presencia de abundante yeso, hacen que el agua contenida en esta unidad tenga elevada salinidad (mayor de 5 mg/l) y sea del tipo sulfatada.

Basamento Hidrogeológico: Tomando en consideración su comportamiento hidráulico se incluye bajo esta denominación a las unidades del Paleozoico y Precámbrico.

Básicamente, se trata de rocas acuífugas que sólo pueden transmitir agua a través de superficies de debilidad estructural (equistosidad, fracturas, diaclasas); de discontinuidad estratigráfica (discordancias, estratificación, contactos) y oquedades debidas a disolución.

Está constituido por granitos, probablemente precámbricos, cuarcitas y calizas paleozoicas.

Debido a su antigüedad, es la unidad más afectada por los procesos tectónicos, especialmente por el fallamiento. Constituye la base impermeable del sistema hidrológico subterráneo.

Según Auge *et al.* (1987) su yacencia en zonas próximas al área de estudio se estima a 650 m de profundidad. Sin embargo, una prospección geofísica por sísmica, realizada en los años 1968-1969, por el Comité de Investigación del Agua Subterránea (C.I.A.S), en el área de estudio, señala que el basamento hidrogeológico se encuentra a los 395 m. de profundidad.

2.3.1 Perfil litológico

Debido a que no se dispone de la información del “cutting” de la perforación, realizado por el S.P.A.R, en la localidad de Ingeniero Thompson, se han tomado como referencia los perfiles litológicos de la ciudades de Tres Lomas y Salliqueló, distantes 20 km en dirección Norte y 22 km en dirección Sur, respectivamente, de la localidad motivo de estudio.

De la información analizada, se obtuvo un perfil litológico orientativo para el área de estudio, de acuerdo a la información disponible y el carácter hidráulico del acuífero, según ensayo de bombeo del pozo (Figura 8).

Comparando los perfiles de Tres Lomas y Salliqueló, se observa una similitud en los primeros metros del perfil, sin embargo, a medida que aumenta la profundidad, la diferencia es más acentuada. En los perfiles de Salliqueló, hay predominio de arcillas, esto se refleja en el valor de los caudales característicos de los ensayos de bombeo realizados en las diferentes perforaciones existentes en esa ciudad.

Teniendo en cuenta el valor del caudal característico ($2 \text{ m}^3/\text{h.m}$) obtenido para Ingeniero Thompson, se concluye que el perfil de esta localidad, sería similar a los perfiles litológicos de la ciudad de Tres Lomas.

Descripción litológica	Prof (m)	Edad Geol.
Arena Fina	0,5 4,5	Postpampeano
Arena Fina con nódulos de tosca	13	
Arena medianamente Fina - Limosa	18	
Arena - Loéssica, castaño clara	24	
Loess -Arenoso con reacción leve frente al HCl		

Figura 8. Perfil litológico orientativo para Ingeniero Thompson

2.4 Geomorfología

El relieve de la zona de estudio es en general suavemente ondulado y se caracteriza por la presencia de médanos fijos y activos (Fotos 3, 4 y 5, Anexo I).

Limita al Este con la región subhúmeda pampeana y al Oeste con la región pampeana semiárida.

Los procesos que actuaron en la región, modelando el paisaje, fueron fundamentalmente eólicos (de acumulación y deflación) dando origen a formas medanosas y sectores deprimidos. Estos últimos, han permitido el desarrollo de cuerpos lagunares temporarios.

De la observación de la Hoja Topográfica Ingeniero Thompson (3763-10-3) a escala 1:50.000, del I.G.M, surge que en la región Noreste predominan los médanos longitudinales, sin embargo en la zona aledaña a la localidad estudiada, prevalecen las formaciones medanosas transversales, específicamente los médanos denominados barjanes. Según Tarbuck & Lutgens (2004), los barjanes son dunas solitarias de arenas, en forma de medialuna y con sus extremos apuntando en la dirección del viento. Sin embargo, estas formaciones han sido modificadas por la acción antrópica, en el área de estudio y en sus alrededores. Las mayores cotas (132,3 m) de la región se hallan al Sureste de la localidad de Ingeniero Thompson y la menor cota (116,7 m), al Noreste de la misma.

2.5 Edafología

En la región predominan los suelos de las unidades taxonómicas pertenecientes al dominio edáfico 16. Componen este dominio sedimentos eólicos de textura arenosa, con presencia de CaCO_3 , que en algunos sectores forman costras calcáreas. Se destaca la presencia de una capa de ceniza volcánica de un espesor de 10 cm. a una profundidad aproximada de 50 cm.

Los principales suelos corresponden a los Molisoles: Hapludoles énticos y Hapludoles típicos (INTA, 1989).

Según el sistema de clasificación “Soil Taxonomy”, los Hapludoles pertenecen a la categoría de Gran Grupo, presentando como horizonte diagnóstico superficial el epipedón mólico, bajo el régimen de humedad edáfico de tipo údico.

La principal diferencia entre los Hapludoles énticos y Hapludoles típicos está determinada por su posición en el relieve. Los primeros se sitúan en zonas más elevadas del paisaje y su perfil característico es A/AC/C, mientras que los segundos, están posicionados en las áreas más deprimidas, observándose el perfil A/Bw/C. La presencia de

horizonte Bw (B cámbico) está dada por el mayor aporte de agua que recibe, no sólo, de las precipitaciones, sino también por escorrentía superficial de zonas de mayor elevación en el terreno.

Como suelos de menor desarrollo o subordinados, se han encontrado en los médanos, Udipsamments típicos en la parte más elevada y Udipsamments ácuicos en la parte más planas de los mismos.

2.6 Hidrología superficial

El agua superficial de las zonas aledañas al área de estudio, se halla almacenada en depresiones de origen eólico, de escasa profundidad y extensión areal reducida. A aproximadamente 1500 m al Sur de la localidad, existe una laguna de carácter temporario. Al estar alimentada por las aguas subterráneas, la salinidad del agua, guarda estrecha relación con la de ellas. Al producirse la descarga del agua subterránea desde médanos aledaños a la laguna, la concentración salina es baja (Arias *et al.*, 2000).

2.7 Hidrología subterránea

El mapa piezométrico se confeccionó en base a 13 mediciones de la profundidad del nivel freático, tomadas en diferentes puntos del área de estudio y teniendo en cuenta el mapa topográfico realizado por el S.P.A.R en el año 2005, para la zona urbana de Ingeniero Thompson.

En el mapa piezométrico (Figura 9, Anexo I) se observan las direcciones de escurrimiento del agua subterránea, en el cual se reconocen una zona central de baja pendiente, tres áreas de recarga, representadas por los puntos P₂, P₄ y P₁₃, que a esta escala, se comportan como domos a partir de los cuales se desarrollan filetes en todas las direcciones y tres sumideros o centros de consumo de agua, de los cuales, el situado en el Noreste del mapa es el más importante por la magnitud de la depresión.

En un área despoblada, la infiltración está gobernada por la permeabilidad de los materiales superficiales y el relieve que refleja la diferencia en la naturaleza de los materiales. Sin embargo, en un área poblada, los factores naturales son afectados por otros antrópicos, como consumo, destino del consumo, huertas, piletas, forestación, impermeabilizaciones, destino de las superficies libres, entre otras.

En la actualidad, la localidad de Ingeniero Thompson está haciendo uso de una nueva fuente de agua que ofrece suministro a la población y que se agrega a los usos de las perforaciones domiciliarias destinadas a otros fines.

No se observa, que esta nueva circunstancia, esté ya reflejada en el relieve de la superficie freática. Pareciera que la misma está gobernada por áreas de recarga que corresponderían a sectores donde el terreno natural no se halla ampliamente modificado.

Las áreas de descarga o sumideros, en todos los casos analizados tienen un patrón común, la presencia de vegetación arbórea muy desarrollada. Los usos domésticos no estarían influenciando de manera significativa la morfología de la capa freática, a esta escala de trabajo, principalmente por la densidad de puntos medidos y porque los sitios de excretas no han sido puntualmente considerados.

2.8 Descripción del servicio de agua potable

Como se mencionó anteriormente el servicio de agua potable es suministrado por el S.P.A.R desde el año 2007. Cuenta con una perforación ubicada en la zona urbana.

Según información del S.P.A.R, se extrae un caudal individual de 5 m³/h, mediante un equipo electrobomba del tipo motor sumergido. La perforación posee una profundidad de 30 m, con los filtros colocados a partir de los 20 m. hasta los 29 m.

El agua bombeada, es almacenada en un tanque de plástico de fibra reforzado, que posee una capacidad de almacenamiento de 15 m³ y un tirante mínimo de 3 m. La torre es metálica con una altura de fondo de 12 m. Las cañerías en el tanque son de acero. La cañería de impulsión tiene un diámetro de 50,8 mm y la de bajada del tanque de 76,2 mm. A efectos de asegurar la desinfección del agua, se inyecta en la cañería de subida, una solución de hipoclorito de sodio, mediante una bomba dosificadora a diafragma.

La red de distribución tiene una extensión total de 3.500 m y fue construida con una cañería de PVC para una presión del servicio de 6 Kg/cm².

En la actualidad, la cantidad de conexiones domiciliarias es de 47, cubriendo el 85,5 % de la población, sólo 8 viviendas no se encuentran conectadas, pero se hallan dentro del área de provisión del servicio.

3. METODOLOGÍA DE TRABAJO

3.1 Tareas realizadas.

3.1.1 Tareas de gabinete:

a) Se recopiló y analizó la información básica (cartográfica, meteorológica, geológica, geomorfológica e hidrogeológica) del área de estudio y la bibliografía referida a los aspectos metodológicos del plan.

b) Se confeccionó un mapa base y se diseñó una red de muestreo.

3.1.2 Tareas de campo:

En una primera etapa se realizó una encuesta a los propietarios de los pozos de agua, a fin de conocer algunas características de los mismos, como profundidad, condición, usos, distancias a los pozos ciegos, entre otras.

En los lugares que fue posible, se midió la profundidad del nivel freático (Foto 6, Anexo I).

En una segunda etapa se procedió a la recolección de las muestras de agua en sucesivas campañas (Fotos 7, 8 y 9, Anexo I), siguiendo las recomendaciones de Coletto & Maestro (1988).

De la información obtenida en la primera etapa, se seleccionaron 1 o 2 viviendas por manzana, según la densidad de las mismas, para realizar la toma de la muestra. Se colectaron 58 muestras, distribuidas en 26 viviendas y en la perforación que abastece de agua potable a la localidad (Figura 10). En una primera campaña se tomaron 45 muestras, de las cuales a 29, se les determinó nitratos, nitritos, conductividad, residuo seco y pH; y a las restantes 16 se les realizó un análisis bacteriológico (Aerobias totales, coliformes totales, colifecales, *Escherichia coli* y *Pseudomonas aeruginosa*). En base a los resultados obtenidos y previa selección de perforaciones, se colectaron 9 muestras, a las que se les determinaron análisis físicos-químicos completos (dureza; componentes químicos mayoritarios: cloruros, sulfatos, carbonatos, bicarbonatos, calcio, potasio, sodio y magnesio; componentes químicos minoritarios y oligoelementos: fluoruros y arsénico). Por último, en una tercera campaña, se realizó un ensayo de bombeo a fin de establecer algunos parámetros como transmisividad, descenso en el pozo, nivel estático, nivel dinámico y caudal característico. El ensayo de bombeo tuvo una duración de 3 horas, tomando una muestra al inicio del bombeo y las restantes a intervalos de 1 hora, por lo que se extrajeron 4 muestras en total, a las que se les determinó nitratos, nitritos y conductividad, para establecer la variación de los mismos en el tiempo.

Previo a la extracción de todas las muestras, se procedió a dejar que el agua circule por la cañería varios minutos y se lavó varias veces el recipiente con la misma agua a muestrear, con el fin de que la misma sea representativa del abasto. Una vez obtenidas, se almacenaron en botellas de polietileno de 1 litro de capacidad, para análisis químicos y en envases estériles para análisis bacteriológicos, sin burbujas de aire, resguardadas de la luz hasta su llegada al laboratorio en conservadoras portátiles.

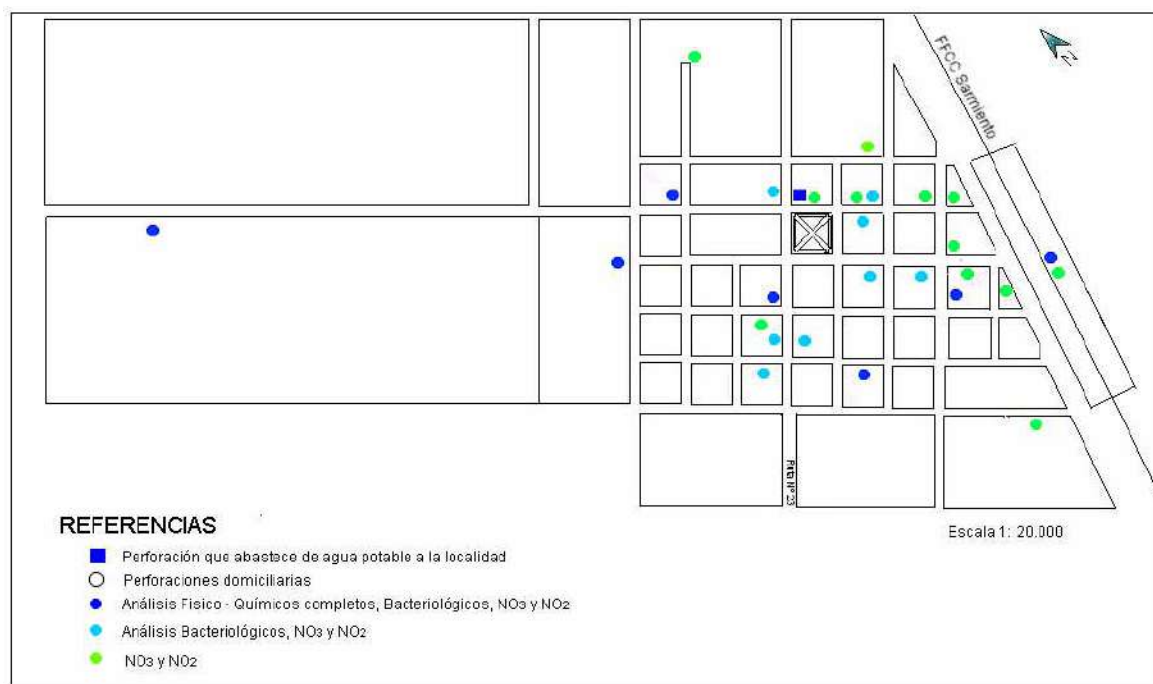


Figura 10.Ubicación de los sitios de muestreo

3.2. Parámetro físico-químico medido *in situ*

Conductividad: Se determinó por conductimetría directa, con un conductímetro modelo 3-Start de marca Orion (Foto 10, Anexo I).

3.3 Determinaciones Analíticas en laboratorio.

La medición de parámetros físico-químicos se efectuó en el Laboratorio de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad Nacional de La Pampa, mediante técnicas convencionales.

pH: se utilizó un pHmetro Metrom Herisau modelo E 516 titriskop.

Sales Totales: se determinó por evaporación a 103 °C-105 °C (método gravimétrico). El método consiste en evaporar una muestra correctamente mezclada en una placa pesada y secada a peso constante en un horno a 103°C-105°C. El aumento del peso de la placa representa los sólidos totales.

Dureza: se obtuvo a través del Método Titulométrico EDTA. El ácido etilendiaminotetracético y sus sales de sodio forman un complejo de quelato soluble, al añadirse a las soluciones de algunos cationes metálicos. Si a una solución acuosa que contenga iones calcio y magnesio, a un pH de 10 +/- 0.1, se añade una pequeña cantidad de indicador como negro de eriocromo T o calmagita, la solución toma un color rojo vino. Al añadir el EDTA como reactivo de titulación, los iones calcio y magnesio forman un

complejo y, cuando todos estos iones estén incluidos en dicho complejo, la solución cambiará del color rojo vino al color azul, señalando el punto final de la titulación.

Cloruro: se analizó por el Método Argentométrico de Titulación con Ag NO_3 , 0,01 N. La muestra es titulada con solución estándar de nitrato de plata en presencia de cromato de potasio. El nitrato de plata reacciona con los cloruros presentes para producir cloruro de plata insoluble. Antes que hayan precipitado, los iones plata con el exceso de cromato forman un precipitado de cromato de plata marrón rojizo, lo cuál indica el punto final de la titulación.

Carbonato y Bicarbonato: se determinaron por el Método de Titulación con HCl 0,1 N. La muestra es titulada con ácido sulfúrico hasta el punto final correspondiente a un determinado pH. “Alcalinidad de fenoftaleína” es utilizada para designar la cantidad medida mediante titulación a pH 8,3, como consecuencia del cambio de color del indicador fenoftaleína e indica el total de hidróxidos y una mitad del carbonato presente. La alcalinidad total es determinada por titulación hasta un pH de 3,7-5,1, e incluye carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos.

Calcio y Magnesio: se realizó el Método Titulométrico con EDTA 0,01 M. Cuando se añade EDTA (ácido etilendiaminotetracético o sus sales) al agua que contiene calcio y magnesio, aquél se combina primero con el calcio. El calcio se determina directamente con EDTA cuando el pH es lo suficientemente alto para que precipite el magnesio como hidróxido, utilizando un indicador que se combine con el calcio únicamente. El magnesio se calcula como diferencia entre la dureza y el calcio, como CaCO_3 .

Sulfato: se determinó por el Método Gravimétrico con combustión de residuos. Los iones sulfatos presentes en la muestra reaccionan con el bario presente en el reactivo de sulfato para formar un sulfato de bario insoluble. La intensidad de la turbidez formada es proporcional a la cantidad de sulfato presente en la muestra.

Fluoruro: se determinó por el Método Colorimétrico de la Alizarina-S. El método colorimétrico se basa en la reacción entre fluoruros y una laca coloreada de zirconio. El fluoruro reacciona con la laca coloreada, disociando una parte de ella para dar un anión complejo incoloro (ZrF_6^{-2}) y el colorante. Al aumentar el contenido de fluoruro, el color producido se hace cada vez más pálido.

Arsénico: se determinó utilizando el “kit” Arsen 10 Quantofix de Macherey-Nagel.

Sodio y Potasio: se analizaron por el Método Fotométrico de llama. El potasio presente en la muestra se combina con tetrafenilborato de sodio para formar

tetrafenilborato de potasio, un compuesto blanco insoluble. La intensidad de tal turbidez es proporcional a la concentración de potasio.

Nitrato: se utilizó un Espectrofotómetro UV-visible. El cadmio metálico reduce los nitratos presentes en la muestra a nitritos, los cuáles al reaccionar en medio ácido con ácido sulfanílico forman una sal intermedia coloreada.

Nitrito: se utilizó un Espectrofotómetro UV-visible. Los nitritos presentes en la muestra reaccionan con el ácido sulfanílico para formar una sal intermedia., la cuál al reaccionar con ácido cromotrópico produce un complejo, cuyo color es directamente proporcional a la cantidad de nitrito presente.

Análisis de componentes microbiológicos: la prueba estándar para el grupo coliforme, *Pseudomonas aeruginosa* y *Escherichia coli*, puede realizarse mediante una Técnica de Fermentación en Tubos Múltiples (a través de las fases supuestas y confirmatorias para cada grupo de microorganismos o prueba completa). Los resultados de los tubos y diluciones replicados se comunican en términos de Número Más Probables (NMP) de microorganismos existentes. Este número, basado en fórmulas de probabilidad, es el cálculo de la densidad media de coliformes en la muestra.

3.4 Elaboración y tratamiento de los datos

Para el procesamiento de los resultados obtenidos del muestreo, se utilizó el programa Microsoft Excel XP, el cual permitió calcular parámetros estadísticos básicos (media, máximos, mínimos y desvío estándar).

Para la elaboración de gráficos y figuras se utilizaron los programas Surfer 8, Map Source v 6.10.2 , Auto CAD 2007 y Adobe Photo Shop CS4.

Con el fin de realizar una clasificación geoquímica del agua, se confeccionó un diagrama de Piper con el programa Easyquim y un diagrama de Stiff con el programa Aquachem.

3.5 Tiempo de tránsito del contaminante en la zona no saturada

Para determinar el tiempo de tránsito de los contaminantes en la zona no saturada se consideró la fórmula expresada por Martinez *et al.* (1993):

$$t = \frac{H. \text{mr}}{R}$$

Donde **t**: tiempo de tránsito del contaminante en la zona no saturada

H: espesor de la zona no saturada

mr: porosidad

R: recarga

El valor del espesor de la zona no saturada se obtuvo realizando un promedio de las profundidades del nivel freático medidas en distintas perforaciones. El mismo se estimó en 2,83 m. El valor de la porosidad efectiva para arenas finas utilizado fue de 15 %, y la recarga de 137 mm, calculados por Vives *et al.* (2002) para el partido de Salliqueló.

La zona no saturada es un efectivo filtro natural frente a los contaminantes, en sus recorridos descendentes hacia la zona saturada.

Existen numerosos métodos para establecer en forma cuantitativa la vulnerabilidad de un acuífero frente a esos contaminantes. Vrba & Zaporozec (1994) definen a la vulnerabilidad como una propiedad intrínseca del sistema de agua subterránea que depende de la sensibilidad del mismo a los impactos humanos y/o naturales. Según Auge (2004) se puede lograr una caracterización semicuantitativa del grado de vulnerabilidad de acuíferos libres, considerando sólo dos variables, espesor y permeabilidad de la zona no saturada.

En relación al espesor de la zona no saturada, este autor, considera 5 casos (tabla 2).

Tabla 2.

Espesor de la zona no saturada					
metros	< 5	5 - 15	15 - 30	30 - 50	>50
Índice	5 (+ vulnerable)	4	3	2	1 (- vulnerable)

Con respecto a la permeabilidad media vertical de la zona no saturada, considera los siguientes valores (tabla 3):

Tabla 3.

Permeabilidad vertical de la zona no saturada (Kv)					
m/día	< 1.10-3	1.10-3 - 0,01	0,01 - 1	1 - 50	50 - 500
Índice	1	2	3	4	5
	muy baja	baja	media	alta	muy alta

Siendo:

5: Kv para arena mediana y gruesa, grava arenosa y grava.

4: Kv para arena muy fina a limosa, arena fina y arena mediana a gruesa.

3: Kv para limo y limo arenoso.

2: Kv para limo y limo arcilloso.

1: Kv para arcilla y arcilla limosa.

Al considerar ambas variables en forma conjunta, su suma varía entre valores de 2 a 10 (siendo 2 el menos vulnerable y 10 el más vulnerable).

Para establecer el grado de vulnerabilidad, el citado autor, reúne esos valores en tres grupos:

e + Kv de 2 a 4 (grupo I - vulnerabilidad baja)

e + Kv de 5 a 7 (grupo II - vulnerabilidad media)

e + Kv de 8 a 10 (grupo III - vulnerabilidad alta)

3.6 Tiempo de tránsito del contaminante en la zona saturada

El tiempo de tránsito del contaminante en la zona saturada fue calculado según la fórmula expresada por Martinez *et al.* (1993):

$$T = \frac{d \cdot m}{k \cdot i}$$

Donde T: tiempo de tránsito del contaminante en la zona saturada

d: distancia horizontal

m: porosidad

k: permeabilidad

i: gradiente hidráulico

Para determinar el tiempo de tránsito del contaminante en la zona saturada, se tomó como referencia el valor de 15 % de porosidad y 15 m/día de permeabilidad, calculado para arenas finas de la formación postpampeano (Vives *et al.*, 2002). El valor para el gradiente hidráulico fue de 6×10^{-4} (Arias *et al.*, 2000).

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Aspectos hidráulicos

Con el fin de determinar algunos parámetros hidráulicos, se realizó en la perforación que abastece de agua potable a la localidad de Ingeniero Thompson, un ensayo de bombeo que tuvo una duración de tres horas.

El nivel estático se midió a 2,17 m de profundidad y el nivel dinámico, luego de las tres horas de bombeo fue de 4,62 m. Se obtuvo una transmisividad de 192 m²/día, un caudal característico de 2 m³/h.m. y un descenso de 2,50 m. Estos, son valores característicos para ese acuífero libre en particular.

En la figura 11 se puede observar la relación entre el descenso residual (expresado en metros) del nivel, luego del cese de bombeo versus t/t' (t = tiempo desde que empezó el bombeo y t' = tiempo desde que se paró el bombeo y se mide el descenso residual). A partir de este gráfico se podría calcular la transmisividad T del acuífero.

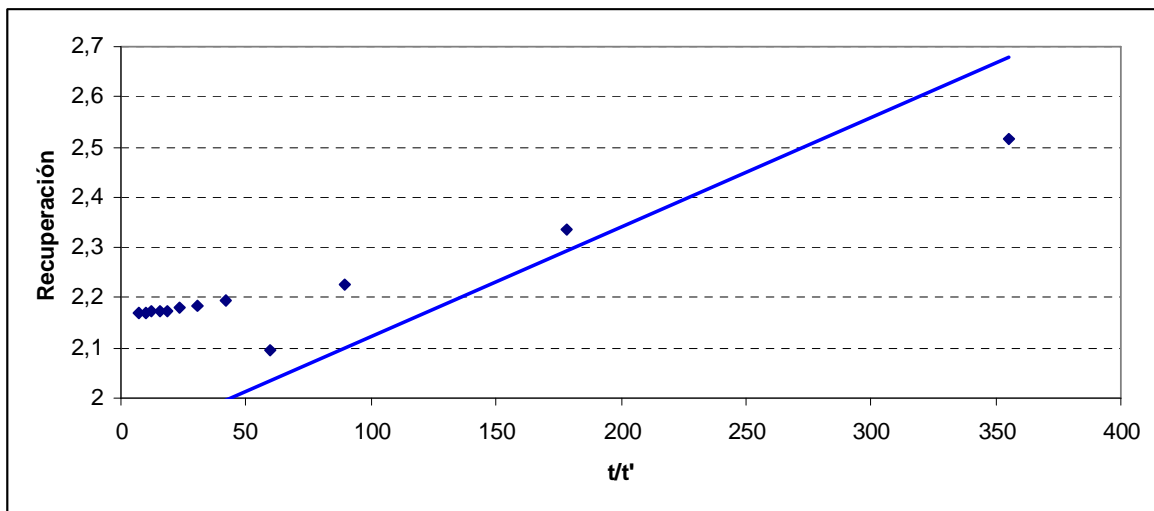


Figura 11. Recuperación del nivel

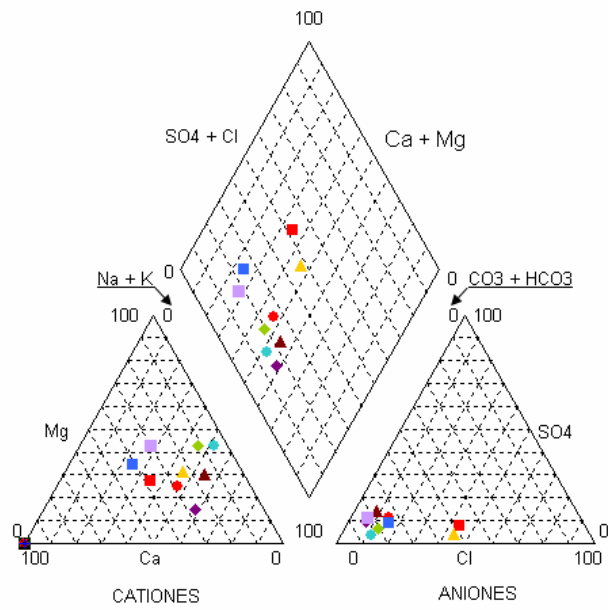
4.2 Aspectos hidroquímicos

4.2.1 Caracterización hidroquímica

La caracterización hidroquímica de la zona urbana de Ingeniero Thompson se realizó en base a 9 muestras, tomadas en distintos puntos de la localidad.

Los resultados obtenidos muestran que el tipo de agua que predomina es bicarbonatada cálcica y/o magnésica en un 55,5 %. Un 33,3 % de las muestras analizadas, corresponde al tipo geoquímico bicarbonatada sódica y sólo un 11,1 % es del tipo sulfatada y/o clorurada calcica y/o magnésica (Figura 12). Sin embargo en este último punto, el Programa Aquachem muestra un error mayor al 15 % para este análisis.

Si se considera la calidad del agua para consumo humano, según los valores establecidos por el Código Alimentario Argentino (2007), se observa que el 55,5 % de las muestras exceden uno o más parámetros analizados. De ese porcentaje, 4 muestras superan el contenido máximo permitido en dureza total, 3 en arsénico y 1 en contenido de cloruros (Tabla 4, Anexo I).



- Muestra 1 ◆ Muestra 2 ▲ Muestra 3 ■ Muestra 4 ■ Muestra 5 ■ Muestra 6
- Muestra 7 ◆ Muestra 8 ▲ Muestra 9

Figura 12. Diagrama de Piper

En la figura 13 se representan las 9 muestras caracterizadas hidroquímicamente a través del diagrama de Stiff

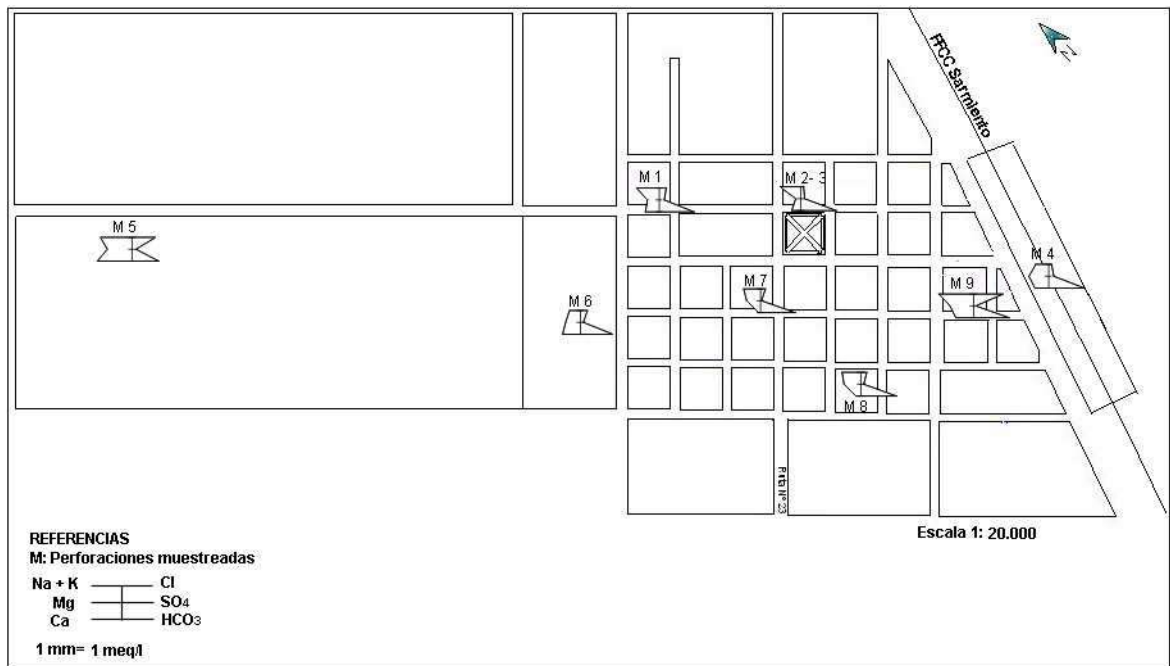


Figura 13. Ubicación espacial de las muestras y Diagrama de Stiff.

4.2.2 Contaminación con nitratos

En base a 29 muestras extraídas en diferentes perforaciones domiciliarias y en la captación que abastece de agua potable a la localidad, se puede observar que 18 muestras (62 %) presentan concentraciones de nitratos que superan el límite establecido para consumo humano, según la Ley N° 11.820 y 11 muestras (38 %) presentaron tenores menores a los 50 mg/l (Figura 14, Anexo I) Si bien, se considera que son aptas para consumo humano, sólo 1 muestra exhibió una baja concentración de nitratos (10 mg/l).

Estos valores evidencian la degradación que está sufriendo el agua subterránea, a través de diferentes fuentes contaminantes.

La media calculada para el contenido de nitratos es de 110,5 mg/l, 2,2 veces superior al valor establecido para consumo humano (Tabla 5). Es importante destacar, que las muestras 1 y 2 presentan concentraciones de nitratos que difieren notablemente del resto, presentando los máximos valores (372 mg/l y 564 mg/l, respectivamente) de las 29 muestras realizadas.

En la mayoría de los casos, salvo raras excepciones, se observó la presencia de pozos ciegos a una distancia inferior a los 15 m. de la captación de agua. Si bien, para la muestra 1, la distancia entre el pozo ciego y la perforación que abastece a los habitantes de la vivienda era superior a lo recomendado, la bomba manual de donde se extrajo la muestra, se encontraba a escasos centímetros de un corral para vacas de ordeño (Foto 11, Anexo I). El centro regional de ayuda técnica (1975), a través del manual de fosas sépticas aconseja que la distancia entre el pozo ciego y cualquier abastecimiento de agua debe ser superior a 15 m., mientras que Auge (2006) recomienda una distancia mayor a 20 m.

En los casos de las muestras 28 y 29, los pozos ciegos estaban a 8 m y 5 m, respectivamente, sin embargo, los valores de nitratos fueron bajos, en relación a otras muestras que se encontraban a mayor distancia (Tabla 6, Anexo I).

Según información verbal de los habitantes de las viviendas, la profundidad de los pozos ciegos oscila en los 3 m, en las casas más antiguas, y los 2 m. en las viviendas más actuales. Debido a la escasa profundidad de los mismos, se estima que estos, podrían penetrar o estar muy próximos al acuífero freático, por lo que se puede producir contaminación del agua por lixiviado de los contaminantes desde los pozos ciegos. Este proceso fue más significativo en el año 2001, cuando los niveles freáticos ascendieron notablemente, debido a las inundaciones ocurridas en la localidad, superando holgadamente, la base de los pozos negros.

En la figura 15 (Anexo I) se observa que el 100 % de las muestras presentan concentraciones de nitritos inferiores a los valores permitidos para consumo humano según la Ley N° 11.820, lo que indicaría que existe una oxidación hacia el ión nitrato.

Tabla 5. Parámetros estadísticos de interés de las variables analizadas

	Conductividad μS/cm	pH	Residuo Seco mg/l	NO ₃ mg/l	NO ₂ mg/l
Promedio	1418,625	8,58	889,1	110,5	0,012
Máximo	5080	8,92	4133	564	0,023
Mínimo	290	8,12	252	10	0,001
Desvío Estándar	996,5	0,20	790,1	116,35	0,0033

En la figura 16 puede observarse la relación que existe entre la concentración de nitratos y la conductividad, con un valor de R² igual al 59,77 %. El aumento de la salinidad (en este caso expresado indirectamente a través de la conductividad) es un indicador importante de contaminación, en aquellas muestras que presentan elevados tenores de nitratos, particularmente las que exceden el límite admitido para consumo humano (Blarasín *et al.*, 1999).

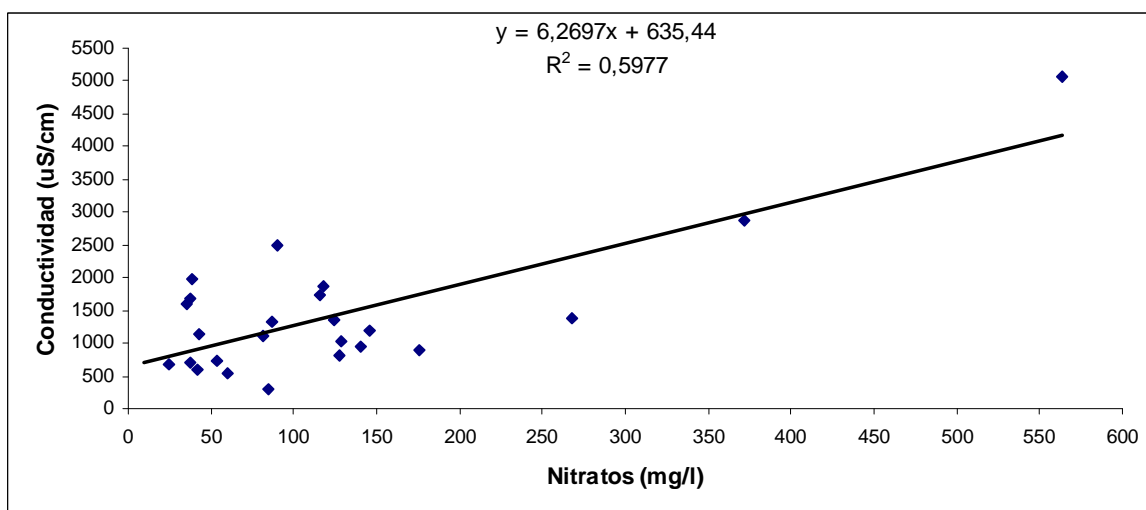


Figura 16. Relación entre la concentración de nitratos y la conductividad

La mayor salinidad del área muestreada, se registró en la muestra M₀₂, con 5.080 μS/cm de conductividad, seguida por la muestra M₀₁, con un valor de 2.860 μS/cm. En éstas muestras se obtuvieron un valor para el ión nitrato de 564 mg/l y 372 mg/l, respectivamente (Tabla 8).

En la figura 17 (Anexo I) se pueden distinguir dos grupos de muestras. Un grupo está representado por valores de conductividad cercanos a los 2.000 μS/cm, situadas entre

los 100 m y 200 m de la muestra M₀₂. El grupo de muestras restante, salvo algunas excepciones, presenta valores de conductividad comprendidos entre 750 y 1250 $\mu\text{S}/\text{cm}$, y se hallan a más de 400 m de M₀₂.

Dado el significado de la muestra M₀₂, que ha quedado en el centro del escenario de la conductividad, se estima que sus características químicas derivan de la acción antrópica, debido a que es una explotación de agua muy antigua de la localidad, situada a 12 m de un pozo negro construido en materiales permeables (arena de médanos) con el nivel freático a menos de 3 m de profundidad.

Es probable que la contaminación de M₀₂ haya afectado alguno de los pozos cercanos (M₁₈ y M₁₉).

Los pozos ciegos y el consumo de agua por la vegetación, generan un aumento en la salinidad. Esa influencia se aprecia en la figura 16 (relación entre la concentración de nitratos y la conductividad).

Otro excelente indicador de contaminación, es el ión cloruro (Blarasín *et al.*, 1999; Dalmaso *et al.*, 1999). Si bien el número de muestras es bajo, en la figura 18, se puede apreciar una significativa correlación (R^2 71,39 %) entre la concentración de nitratos y la concentración de cloruros, lo que indica que el agua subterránea seguramente ha sido afectada por líquidos residuales derivados de actividades humanas. La muestra 5 (Tabla 4, Anexo I) evidenció el mayor valor de cloruros, lo que puede relacionarse a la presencia de una pequeña fábrica de quesos en el lugar donde fue extraída.

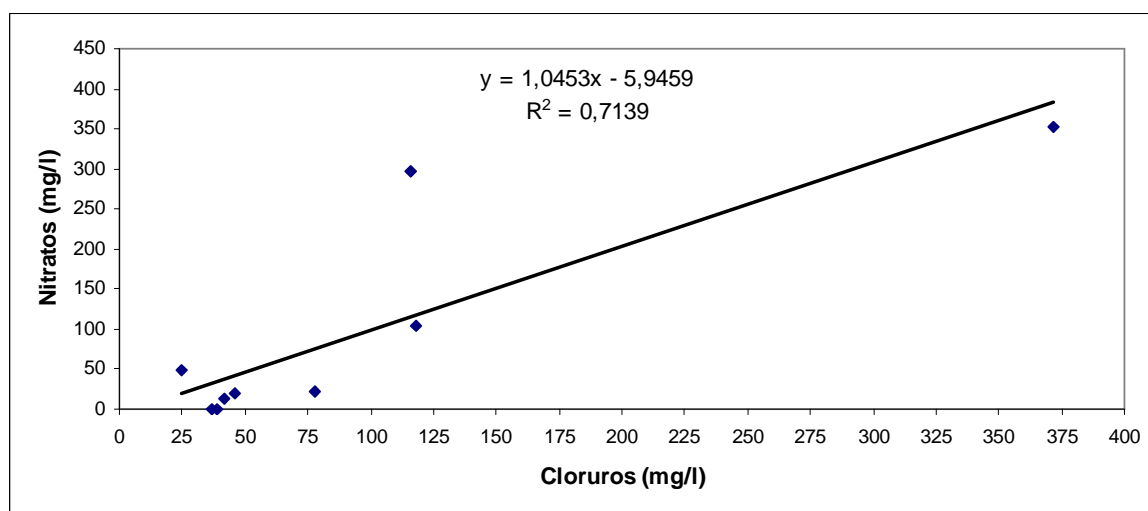


Figura 18. Relación entre la concentración de nitratos y la concentración de cloruros

En relación al ensayo de bombeo, se tomaron 4 muestras, para establecer cuáles eran los valores de nitratos y nitritos en función del tiempo. Al momento de iniciar el bombeo, se extrajo una muestra de agua y a intervalos regulares de una hora, se extrajeron 3 muestras más.

En la tabla 7 se observan las concentraciones de nitratos y nitritos obtenidos en el ensayo de bombeo. En 3 muestras las concentraciones de nitratos se hallan por encima del límite admisible para consumo humano según la Ley N° 11.820. Como se mencionó anteriormente, el nivel dinámico alcanza una profundidad de 4,62 m, por lo tanto no llega a estar en contacto con los filtros. Considerando que en el pozo explotado, los mismos se hallan a unos 20 m de profundidad, los resultados obtenidos indicarían una contaminación que afecta los niveles relativamente más profundos del acuífero. Este hecho podría darse debido a un defecto constructivo del pozo u otras posibilidades serían la presencia de pozos o perforaciones que penetren el acuífero e introduzcan directamente sustancias contaminantes ó que a partir de la relación agua – contaminante, se desarrollen corrientes de densidad que penetren en el acuífero.

Tabla 7. Concentraciones de nitratos y nitritos obtenidos durante el ensayo de bombeo

	Conductividad(μ S/cm)	NO ₃ (mg/l)	NO ₂ (mg/l)
Muestra 1	608	53	0,017
Muestra 2	630	66	0,026
Muestra 3	541	49	0,018
Muestra 4	621	78	0,011

Numerosas investigaciones realizadas en diferentes ciudades, que poseen agua potable y sistema de red cloacal, demuestran el deterioro que está sufriendo el agua subterránea por el aporte de nitratos provenientes de roturas en la red de desagües cloacales y a partir de sumideros domiciliarios en desuso o en funcionamiento (Auge & Nagy, 1996, Rocha & Baudino, 2002, Saracho *et al.*, 2005).

4.3 Contaminación bacteriológica

El análisis bacteriológico indica que el 100 % de las muestras extraídas en las perforaciones domiciliarias no son aptas para consumo humano, debido a la presencia de coliformes totales y a *Pseudomonas aeruginosa*, en el 50 % de las mismas (Tabla 8). En ningún caso se hallaron coliformes fecales y *E. coli*. Según la WHO (2004) la presencia de *P. aeruginosa* y de coliformes puede deberse a una inadecuada desinfección de los sistemas de conducción del agua. Sin embargo, en un trabajo realizado por Marchand Pajares (2007), donde cita a Roberts *et al.* (1982), se comprobó que especies del género

Pseudomonas producen una sustancia denominada “Pseudocin” (PLS) que inhibe el crecimiento de *E. coli*, entre otras especies, por lo que se considera que aún cuando las aguas tratadas muestren estar libres de coliformes, no se puede asegurar su potabilidad.

Un estudio similar realizado por Blarasín *et al.* (1999) en el Barrio San Martín en Río Cuarto, Córdoba reveló que prácticamente todas las muestras analizadas (90 %) presentaron nitratos, dando indicios de un comienzo de degradación de la calidad del agua.

Desde el punto de vista bacteriológico, el 53,6 % de las muestras, resultaron no aptas para consumo humano, por sus contenidos en microorganismos aerobios mesófilos totales, bacterias coliformes totales y *P. aeruginosa*. Estos autores concluyeron que la principal fuente de contaminación son los sistemas de saneamiento in situ. A su vez, González Castelain *et al.* (2007), reportaron en su estudio llevado a cabo en dos barrios de la ciudad de Azul, Buenos Aires, que teniendo en cuenta el valor medio de cada pozo, en el 46,4 % de los casos, el agua no es potable por sobrepasar el límite aceptable para el ión nitrato; y de acuerdo a la calidad bacteriológica, el 85 % de las muestras analizadas no reunieron las condiciones mínimas de potabilidad. Según estos autores, esto se debe principalmente a fuentes puntuales de contaminación, como potreros destinados a la cría de animales, basurales a cielo abierto o pozos ciegos para el vertido de excretas.

Estas investigaciones adquieren relevancia para el presente trabajo, dada su similitud, por presentar baja densidad de habitantes, niveles freáticos someros, abastecimientos de agua por perforaciones domiciliarias y sistemas de saneamiento in situ.

Perdomo *et al.* (2001) en un trabajo realizado en el sudoeste de Uruguay, obtuvieron que el 31 % de los pozos cercanos (menos de 50 m de distancia de Fuentes Localizadas de Contaminación, FCL) estaban contaminadas por nitratos. Teniendo en cuenta esta clasificación, el 100 % de los pozos analizados en Ingeniero Thompson podrían ser considerados cercanos. Sin embargo, analizando las distancias halladas (Tabla 6, Anexo I), se observa que no existe relación entre la distancia de la perforación y el pozo ciego, con el contenido de nitratos. Así, muestras que se encuentran a menor distancia de alguna fuente probable de contaminación, evidenciaron tenores de nitratos inferiores, en relación a otras muestras, cuya perforación se hallaba a mayor distancia de dicha fuentes.

En relación al análisis bacteriológico, estos autores, obtuvieron que el 87 % de los pozos evaluados, estaban contaminados con coliformes totales y el 60 % con coliformes fecales, teniendo un efecto significativo, la distancia a las FLC, sobre la presencia de coliformes fecales, pero no sobre coliformes totales. Con respecto a los resultados hallados para coliformes fecales, estos difieren con el presente trabajo, ya que en ninguna de las

muestras se detectó presencia de esos microorganismos. Estos autores, llegaron a la conclusión que la fuente de contaminación parece ser localizada, asociada a la presencia de cámaras sépticas, lugares de acumulación de residuos y no de la actividad agrícola.

Tabla 8. (Valores en color rojo y negrita: superan los valores admitidos por la Ley N° 11.820) (S/D sin datos)

Muestra	Conductividad µS/cm	pH	Residuo Seco mg/l	NO3 mg/l	NO2 mg/l	Aerobias Totales UFC/ml	Coliformes Totales	Colifecales	Escherichia coli ausencia en 100 ml	Pseudomonas aeruginosa ausencia en 100 ml
1	2860	8,22	2269	372	0,023	30	15	0	(-)	Confirmativo (+)
2	5080	8,12	4133	564	0,019	<10	43	0	(-)	Confirmativo (+)
3	897	8,71	623	176	0,01					
4	685	8,66	451	25	0,013	27	93	0	(-)	Confirmativo (+)
5	S/D	8,7	410	84	0,011					
6	S/D	8,73	472	37	0,01	<10	9,2	0	(-)	Confirmativo (-)
7	700	8,78	403	38	0,01	<10	23	0	(-)	Confirmativo (+)
8	608	8,75	344	42	0,011					
9	1150	8,72	619	43	0,011					
10	548	8,75	275	60	0,014					
11	S/D	8,92	421	41	0,01	<10	3	0	(-)	(-)
12	800	8,54	619	128	0,017	<10	3,6	0	(-)	Confirmativo (-)
13	1596	8,84	1060	35	0,01					
14	1990	8,85	1380	39	0,011	<10	3,6	0	(-)	Confirmativo (+)
15	1866	8,63	1309	118	0,012	<10	3,6	0	(-)	Confirmativo (+)
16	1722	8,68	1121	116	0,012	<10	3,6	0	(-)	Confirmativo (-)
17	1385	8,69	927	268	0,02	<10	3	0	(-)	(-)
18	1688	8,66	1016	38	0,01	120	75	0	(-)	Confirmativo (+)
19	2500	8,61	1448	90	0,011	<10	3,6	0	(-)	Confirmativo (+)
20	1104	8,3	689	81	0,012					
21	739	8,36	469	54	0,01	37	9,2	0	(-)	Confirmativo (-)
22	290	8,55	252	85	0,011					
23	1043	8,44	577	129	0,012					
24	943	8,5	468	140	0,014					
25	1342	8,44	532	124	0,012	23	9,2	0	(-)	Confirmativo (-)
26	1196	8,4	797	146	0,015					
27	1315	8,33	922	87	0,01	<10	3,6	0	(-)	Confirmativo (-)
28	S/D	S/D	S/D	10	0,01					
29	S/D	S/D	S/D	35	0,011					

4.4 Tiempo de tránsito de los contaminantes en la zona no saturada y saturada

El tiempo de tránsito en la zona no saturada se calculó en 3,06 años y para los tiempos de tránsito en la zona saturada en la sección arenosa del acuífero, se obtuvieron los siguientes resultados (Tabla 9):

Tabla 9. Tiempo de tránsito en la zona saturada

Distancia (m)	100	500	1000
Tiempo (Años)	4,5	22,8	45,6

Para el cálculo del grado de vulnerabilidad del acuífero freático se consideró un espesor de la zona no saturada de 2,83 m. y una permeabilidad de 15 m/día. Teniendo en cuenta los índices propuestos por Auge (2004) se obtiene un valor de 9, lo que indicaría una vulnerabilidad alta del acuífero freático frente a la contaminación.

5. CONCLUSIONES

El presente trabajo constituye una primera aproximación al conocimiento de la calidad del agua subterránea para consumo humano en la localidad de Ingeniero Thompson. El mismo, debe ser considerado como punto de partida para futuras investigaciones, que contemplen no sólo la zona urbana sino también la zona rural.

El agua que predomina en el sector estudiado, corresponde a la facies hidroquímica bicarbonatada cálcica y/o magnésica. Esto se debe a la escasa evolución en un acuífero de granulometría gruesa.

Prácticamente todas las muestras (93 %) presentaron tenores elevados de nitratos. Si bien, el 62 % de las mismas, no son aptas para consumo humano por exceder el valor de 50 mg/l, según la ley N° 11.820, el resto de las muestras poseen concentraciones de nitratos que evidencian una significativa degradación del agua subterránea.

Con respecto a los nitritos, el 100 % de las muestras presentó tenores por debajo del límite admitido para consumo humano. Esto puede deberse a que ocurre un proceso de oxidación hacia el ión nitrato, lo que indica que la contaminación no es reciente o bien, que el potencial de oxidación del acuífero es muy alto.

Se pudieron detectar tres fuentes probables de contaminación en la localidad: los pozos ciegos de las viviendas, los criaderos de animales, en especial bovinos y porcinos, ubicados en la periferia de la zona urbana y una pequeña fábrica de quesos.

En relación a la perforación que abastece de agua potable a la localidad la concentración de nitratos, en promedio, se halla por encima del límite establecido para consumo humano. Sin embargo estos valores varían para un mismo ensayo de bombeo y en relación a datos provistos por otras fuentes de información. Dado que la contaminación se desarrolla en niveles profundos que no están en contacto con el cono de depresión creado por el bombeo, sus causas deben ser dilucidadas con mayor precisión.

6. RECOMENDACIONES

Las altas concentraciones de nitratos y bacterias hallados en las perforaciones domiciliarias del área de estudiada, evidencian un deterioro del agua subterránea. Por tal motivo, las recomendaciones que surgen de este trabajo son:

- Retirar preventivamente del servicio, los pozos domiciliarios que abastecen de agua para consumo humano, en los que se hallaron tenores de nitratos y bacterias superiores a los límites establecidos por la Ley N° 11.820.
- Monitorear regularmente la perforación que abastece de agua potable a la localidad, debido a que posee concentraciones de nitratos que, en promedio, superan el límite admisible para consumo humano.
- Realizar otra perforación en un sector alejado de la zona urbana, que posea agua en calidad y en cantidad para abastecer el consumo humano de la localidad, en caso de que se mantengan los valores de nitratos expresados en el punto anterior.
- Implementar un sistema de saneamiento cloacal en la localidad.
- Realizar un ordenamiento de futuras actividades que sean potencialmente perjudiciales para el acuífero, debido a la alta vulnerabilidad que posee el mismo frente a los contaminantes.

BIBLIOGRAFÍA

Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (1987). “**Agua subterránea y agua potable**”. <http://www.epa.gov/OGWDW/agua/estándares.html>

Arias, D., I. Entraigas, J. González Castelain, F. Peluso, E. Queupán, R. Rivas, E. Usunoff, M. Varna, L. Vives & P. Weinzettel (2000). “**Lineamientos técnicos para la planificación de los recursos hídricos del Partido de Salliqueló**”. Informe final. Instituto de Hidrología de Llanuras. 340 pp.

Auge, M., M. Nagy & R. Mendez Escobar (1987). “**Hidrogeología del partido de Salliqueló, provincia de Buenos Aires, República Argentina**”. HGLL-II/61/TRA, Buenos Aires, pág. 1-6.

Auge, M. & M. A. Nagy (1996). “**Origen y evolución de los nitratos en el suelo y el agua subterránea de La Plata, Provincia de Buenos Aires, Argentina**”. 3^{er} Congreso Latinoamericano de Hidrología Subterránea. San Luis de Potosí, México. Memorias, Tema 1, pág. 1-12.

Auge, M. (2004). “**Hidrogeología ambiental I**”. 84 pp.
<http://www.gl.fcen.uba.ar/investigación/grupos/hidrogeologia/auge/hidroGeo.pdf>

Auge, M. (2004). “**Regiones hidrogeológicas. República Argentina y provincias de Buenos Aires, Mendoza y Santa Fé**”. 104 pp.
<http://www.gl.fcen.uba.ar/investigación/grupos/hidrogeologia/auge/Reg-Hidrogeo.pdf>

Auge, M. (2006). “**Agua Subterránea. Deterioro de calidad y reserva**”. 169 pp.
http://www.alhsud.com/castellano/articulos_listado.asp.

Auge, M. (2006) “**Agua. Fuente de vida**”. 27 pp.
<http://www.gl.fcen.uba.ar/investigación/grupos/hidrogeologia/auge/aguafuentevedida.pdf>

Blarasín, M., A. Cabrera, M. Villegas, S. Bettera, C. Frigerio & D. Lombardo (1999). “**Evaluación ambiental del impacto de sistemas de saneamiento domiciliarios sobre el agua subterránea en el barrio San Martín, Ciudad de Río Cuarto, Prov. De Córdoba**”. II Congreso Argentino de Hidrogeología y IV Seminario Hispano Argentino sobre temas actuales de la Hidrología Subterránea. Dr. Alfredo Tineo, Inst. Superior de Correlación Geológica, CONICET, Fac. de Cs. Naturales e Int. Miguel Lillo Universidad Nacional de Tucumán (Editores). Serie Correlación 13 ISSN 1514-4186. “Hidrología Subterránea”, pág. 177-186.

Bonorino, G. A., R. Albouy, C. Lexow & J. Carrica (1999). “**Nitratos en el acuífero de la zona periserrana de las Sierras Australes**”. II Congreso Argentino de Hidrogeología

y IV Seminario Hispano Argentino sobre temas actuales de la Hidrología Subterránea. Dr. Alfredo Tineo, Inst. Superior de Correlación Geológica, CONICET, Fac. de Cs. Naturales e Int. Miguel Lillo Universidad Nacional de Tucumán (Editores). Serie Correlación 13 ISSN 1514-4186. "Hidrología Subterránea", pág. 231-240.

Canter, L. W. (1997). **"Nitrates in Groundwater"**. Lewis Publishers. ISBN 0-87371-569-1, pág. 1-263.

Centro regional de ayuda técnica (1975). **"Manual de fosas sépticas"**. Agencia para el desarrollo Internacional, México/Buenos Aires.

Código Alimentario Argentino actualizado (2007), Art 982/07. **Capítulo XII. Bebidas hídricas, agua y aguas gasificadas**. Buenos Aires. 65 pp.

Coletto, I. & M.T. Maestro (1988). Recogida y conservación de muestras (a) y Medición en campo de constituyentes inestables (b). **"Aguas Subterráneas: instrumentación, medida y toma de muestras"**. Guirgui, A., L. Candela y J.M. Pascual (Editores). (a): pág. 187-259 y (b) pág. 107-145, Barcelona.

Custodio, E. & M.R. Llamas (1983). **"Hidrología Subterránea"**. Omega, Barcelona (Editor). Vol.1 y 2, 2350 pp.

Dalmaso, M.G., D. Martínez & E. Mariño (1999). **"Contaminación por efluentes de la Industria Frigorífica: el caso del acuífero arenoso de General Pico"**. II Congreso Argentino de Hidrogeología y IV Seminario Hispano Argentino sobre temas actuales de la Hidrología Subterránea. Dr. Alfredo Tineo, Inst. Superior de Correlación Geológica, CONICET, Fac. de Cs. Naturales e Int. Miguel Lillo Universidad Nacional de Tucumán (Editores). Serie Correlación 13 ISSN 1514-4186. "Hidrología Subterránea", pág. 187-194.

Dalmaso, M. G., E. Mariño & J. Tullio (2007). **"Análisis de la calidad de agua de pozos de provisión a la localidad de Catriló, La Pampa"**. III Seminario hispano-latinoamericano se temas actuales de la hidrología subterránea. Aguas subterráneas: producción de alimentos y abastecimiento urbano. Duarte, O., Pujato, E., Valenti, R. y Paris, M. (Compiladores). pág. 75-84.

Diaz, F. M. (1985). **"Contaminación de las aguas subterráneas por nitratos-situación existente en el Aglomerado Bonaerense"**. Anales del XII Congreso Nacional del Agua, Tomo II (a), CONAGUA 85, Mendoza, República Argentina. pág 21.

Fernández, N. (2005). **"Estudio de la concentración de nitratos, nitritos y amonio en el agua de consumo del Partido de Moreno - Provincia de Buenos Aires"**. Trabajo de investigación de grado correspondiente a la carrera de Ingeniería en Ecología. Universidad de Flores. 116 pp.

González, R., I. Vadillo, R. Rodríguez & F. Carrasco (2003). **“Sistema redox en un acuífero carbonatado por lixiviado de basureros”**. Memorias del III Congreso Argentino de Hidrogeología y I Seminario Hispano-Latinoamericano sobre Temas Actuales de la Hidrología Subterránea. Pedro A. Basile, Adelma M. Mancinelli, Nora E. Pouey, Gerardo A. Riccardi, Eric D. Zimmerman (Editores). ISBN 950-673-395-3, pág. 397-406.

González Castelain, J., V. A. Suhurt & N. Othax (2007). **“Problemática del agua para consumo humano en dos barrios de la ciudad de Azul (Provincia de Buenos Aires, Argentina)”**. III Seminario hispano-latinoamericano se temas actuales de la hidrología subterránea. Aguas subterráneas: producción de alimentos y abastecimiento urbano. Duarte, O., Pujato, E., Valenti, R. y Paris, M. (Compiladores). pág. 65-74.

Herrero, M. A. (2006). **“Contaminación de aguas en el medio rural”**. FANUS. Foro de la Alimentación, la Nutrición y la Salud. II Foro: nitratos y nitritos en la alimentación humana. <http://www.fanus.com.ar/Efectuados060922.php>

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (1989). **“Mapa de suelos de la Provincia de Buenos Aires”**. Proyecto PNUD. Argentina-85/019.

Lavado, R.S. & H. Rimski- Korsakov (2002). **“Cuantificación de las pérdidas de nitratos por lixiviación en dos suelos de la Provincia de Buenos Aires”**. 2º Taller de Contaminación por Agroquímicos, Pergamino.

Lewis, W. J., S. S. D. Foster & B. S Drasar (1988). **“Análisis de contaminación de las aguas subterráneas por sistemas de saneamiento básico”**. Pan American Center for Sanitary Engineering and Environmental Sciences, World Health Organization, and Pan American Health Organization, Lima, Peru. 82 pp.

Ley N° 11.820. Texto actualizado con las modificaciones introducidas por la Ley N° 12.292. **“Título I, Artículo 5º, Anexo A: Normas de calidad para el agua potable-frecuencia de muestreo técnicas analíticas”**. 29 pp.

Manzano, M., E. Custodio & P. Nieto (2003). **“El fondo natural de la calidad del agua subterránea”**. Memorias del III Congreso Argentino de Hidrogeología y I Seminario Hispano-Latinoamericano sobre Temas Actuales de la Hidrología Subterránea. Pedro A. Basile, Adelma M. Mancinelli, Nora E. Pouey, Gerardo A. Riccardi, Eric D. Zimmerman (Editores). ISBN 950-673-395-3, pág. 607-620.

Malán, J. (1969). **“Carta de salinidad de Ingeniero Thompson”**. I.G.M. Escala 1:50.000. Inédito.

Marchand Pajares, E. O. (2007). **“Microorganismos indicadores de la calidad del agua humano en Lima Metropolitana”**. <http://sisbis.unmsm.edu.pe/bibVirtual/Tesis/Basic/>.

Martínez, D. E., E. Bocanegra, H. E. Massone, D. Fajardo, J. L. Del Río & J. L. Cionchi, 1993. **“Los residuos sólidos domiciliarios del Partido de General Pueyrredon (prov. de Buenos Aires) desde una perspectiva geológico-ambiental”**. Parte II: Deterioro de la calidad de las aguas subterráneas debido al lixiviado de los sitios de disposición final. XII Congreso Geológico Argentino y II Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Mendoza.

Martínez, D. E., H. E. Massone, A. Ferrante, G. Bernava & M. Yedaide (2003). **“Impacto del lixiviado de rellenos sanitarios en la cuenca del arroyo Lobería: I. Caracterización de la carga contaminante”**. Memorias del III Congreso Argentino de Hidrogeología y I Seminario Hispano-Latinoamericano sobre Temas Actuales de la Hidrología Subterránea. Pedro A. Basile, Adelma M. Mancinelli, Nora E. Pouey, Gerardo A. Riccardi, Eric D. Zimmerman (Editores). ISBN 950-673-395-3, pág. 377-386.

Organización Mundial de la Salud (1987). **“Guías para la calidad del agua potable”**. Segunda edición. Vol. 2. Criterios relativos a la salud y otra información base.

Pacheco Avila, J., R. Pat Canul & A. Cabrera Sansores (2002). **“Análisis del ciclo del nitrógeno en el medio ambiente con relación al agua subterránea y su efecto en los seres vivos”**. pág. 73-81.

Perdomo, C. H., O. N. Casanova & V. S. Ciganda (2001). **“Contaminación de aguas subterráneas con nitratos y coliformes en el litoral sudoeste del Uruguay”**. Agrociencia, Vol. V. N° 1, pág. 10-22.

Pomposiello, C., A. Favetto, P. Boujon, C. Dapeña & H. Ostera (2005). **“Evidencias de pluma de contaminación detectadas por métodos geofísicos en el basurero municipal de Gualeguaychú, Entre Ríos, Argentina”**. IV Congreso argentino de hidrogeología. Hidrología subterránea y aspectos ambientales, Río Cuarto, Argentina. Blarasín, M., Cabrera, A., Matteoda, E. (Compiladores). ISBN 950-665-346-1, pág. 181-190.

Rocha, V. & G. Baudino (2002). **“Contaminación con nitratos en el Norte de Salta Capital, Noreste argentino”**. Actas XXXII Congreso de Aguas Subterráneas, Mar del Plata, Argentina. Groundwater and Human Development. Bocanegra, E., Martínez, D., Massone, H. (Editores). pág. 480-488.

Saracho M., L. Segura, P. Moyano & N. Rodríguez (2005). **“Variación espacio-temporal de la concentración de nitratos en el agua subterránea de la Ciudad Capital, Provincia de Catamarca”**. IV Congreso argentino de hidrogeología, Río Cuarto,

Argentina. Blarasín, M., Cabrera, A., Matteoda, E. (Compiladores) ISBN 950-665-346-1, pág. 129-138.

Tarbuck, E. J. & F. K. Lutgens (2004). **“Ciencias de la tierra. Una introducción a la geología física”**. Isabel Capella (Editora). 540 pp.

Thornthwaite, C.W. (1948). **“An approach toward a rational classification of climate”**. Geographical Review 38, pág. 55-94.

Varela, M., C. Ramos, J. Carrera, J. Samper, G. Galarza, L. Candela, A. Lloret, F. Hernández, L. Araguas, J. Guimerá, A. Fernández Uria, S. Castaño, M. Maestro, L. Virgós, S. Foster & J. Chiton (1993). **“La zona no saturada y la contaminación de las aguas subterráneas”**. CIMNE, Barcelona, España, 323 pp.

Vives, L., M. Varni, E. Usunoff, I. Entraigas, F. Peluso, R. Rivas, P. Weinzettel & J. González Castelain (2002). **“Una propuesta de gestión integral de los recursos subterráneos en el Partido de Salliqueló, Argentina”**. Actas XXXII Congreso de Aguas Subterráneas, Mar del Plata, Argentina. Groundwater and Human Development. Bocanegra, E., Martinez, D., Massone (Editores).

Vrba, J. & A. Zaporozec (1994). **“Guidebook on mapping groundwater vulnerability”**. IAH. Verlag Heinz Heise. Hannover, Vol. 16, 131 pp.

World Health Organization (2004). **“Guidelines for drinking- water quality”**. Third edition. Vol. 1. Recommendations. 515 pp.

ANEXO I

Tablas

Tabla 4. Análisis físico-químicos

Muestra	pH	C. E μS/cm	Sól Totales mg/l	(CO ₃ ⁻) mg/l	(HCO ₃ ⁻) mg/l	(SO ₄ ⁻) mg/l	(Cl ⁻) mg/l	(F ⁻) mg/l	(CaCO ₃) mg/l	(Ca ²⁺) mg/l	(Mg ²⁺) mg/l	(Na ⁺) mg/l	(K ⁺) mg/l	(As) mg/l
1	7,8	743	545,1	N/C	411,69	48,04	49,00	1,04	239,8	51,51	27,04	92,8	7,8	0,01
2	7,95	640	431,8	N/C	412,82	36	20,34	0,69	141,7	36,62	12,18	88,32	6,95	< 0,01
3	7,95	647	457,25	N/C	325,26	48,01	21,44	0,7	160,78	21,84	25,84	84,52	7,12	< 0,01
4	7,8	493	469,4	N/C	302,9	32,67	14	1,14	232,61	38,44	33,23	38,3	4,68	0,025
5	7,45	2680	2473,55	N/C	661,86	84,07	351,74	0,05	2190,93	284,49	124,76	290,36	20,82	0,025
6	7,7	697	488,3	N/C	386,35	35,14	49	0,49	306,94	66,89	34,05	43,7	5,46	0,01
7	7,65	1760	1317,05	N/C	1190,72	36,82	98,00	0,27	417,25	19,22	89,78	194,28	23,4	0,01
8	7,8	1920	1220,7	N/C	1124,22	72,06	105	1,75	580,32	49,98	110,77	218,5	11,7	0,05
9	7,75	1610	1365	N/C	610,26	36,03	297,49	0,79	565,93	96,11	79,29	206,3	25,85	0,01

Tabla 6. (FPC: fuente probable de contaminación, S/D: sin datos)

Muestra	NO ₃ mg/l	Distancia (m) FPC y perforación
1	372	< 1
2	564	12,2
3	176	48
4	25	S/D
5	84	S/D
6	37	10,2
7	38	S/D
8	42	10
9	43	10
10	60	8
11	41	S/D
12	128	12
13	35	16
14	39	11
15	118	8
16	116	12
17	268	25
18	38	12
19	90	8
20	81	11,6
21	54	10
22	85	10
23	129	14
24	140	8
25	124	12
26	146	5
27	87	8,6
28	10	8
29	35	5

Tabla 10. Valores utilizados para realizar el mapa piezométrico (Figura 9)

Punto Muestreado	Coordenadas		Profundidad Nivel Freático (m)	Altura sobre el nivel del mar (m)
	X	Y		
P 01	3776362	5944234	2,3	120,76
P 02	3776508	5944137	2,58	121,34
P 03	3776614	5944563	4,4	120,93
P 04	3776143	5944025	2,85	121,88
P 05	3776425	5944411	3	121,22
P 06	3776420	5944284	2,46	121,01
P 07	3776323	5944415	2,42	120,78
P 08	3775966	5944285	2,45	121,06
P 09	3775980	5944212	3,71	121,76
P 10	3776364	5944316	2,43	120,74
P 11	3776172	5944754	3,37	120,85
P 12	3776332	5944492	2,17	120,54
P 13	3776082	5944533	2,24	120,97

(Sistema de proyección: Gauss Kruger – Sistema de referencia: Campo Inchauspe)

Tabla 11. Valores utilizados para realizar el mapa de conductividad (Figura 17)

Muestra	Coordenadas		Conductividad $\mu\text{s/cm}$
	X	Y	
M 01	3775215	5945573	2860
M 02	3775978	5944301	5080
M 03	3775928	5944268	897
M 04	3775936	5944733	685
M 07	3776266	5943716	700
M 08	3776671	5943988	608
M 09	3776654	5943962	1150
M 10	3776562	5944442	548
M 12	3776479	5944361	800
M 13	3776085	5944347	1596
M 14	3776134	5944367	1990
M 15	3776143	5944025	1866
M 16	3776428	5944073	1722
M 17	3776416	5944345	1385
M 18	3776093	5944264	1688
M 19	3776084	5944294	2500
M 20	3776432	5944398	1104
M 21	3776361	5944552	739
M 22	3776542	5944035	290
M 23	3776508	5944137	1043
M 24	3776497	5944104	943
M 25	3776362	5944234	1342
M 26	3776391	5944445	1196
M 27	3776425	5944144	1315

(Sistema de proyección: Gauss Kruger – Sistema de referencia: Campo Inchauspe)

Fotos



Foto 1: Desborde de la laguna cercana a la localidad de Ingeniero Thompson durante las inundaciones del año 2001.



Foto 2: Vista aérea de la laguna durante las inundaciones ocurridas en el año 2001. Ruta N° 23, acceso a Ingeniero Thompson.



Foto 3: Médanos aledaños a la localidad de Ingeniero Thompson.



Foto 4: Médanos aledaños a la localidad de Ingeniero Thompson.



Foto 5: Médanos aledaños a la localidad de Ingeniero Thompson.



Foto 6: Medición de la profundidad del nivel freático.



Foto 7: Muestra de agua extraída de una bomba manual.



Foto 8: Muestra extraída de la perforación que abastece de agua potable a los habitantes de Ingeniero Thompson.



Foto 9: Perforación domiciliar muestreada.



Foto 10: Medición de la conductividad eléctrica.



Foto 11: Bomba manual ubicada a escasos centímetros de un corral con vacas destinadas al ordeño.