

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PAMPA

FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES

CARRERA DE LICENCIATURA EN GEOLOGÍA

TESINA DE GRADO:

“DINÁMICA ESPACIAL Y TEMPORAL DEL NIVEL FREÁTICO
DEL NORESTE DE LA PROVINCIA DE LA PAMPA”

AUTOR: *GASTÓN GIAMBELLI*

DIRECTOR: *EDUARDO E. MARIÑO*

AÑO 2008

PREFACIO

Esta Tesina es presentada como parte de los requisitos para optar al grado Académico de Licenciado en Geología, 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 Ciencias Naturales, durante el período comprendido entre el 28 de julio de 2006 y el 19 de febrero de 2008 (fecha de presentación de la Tesina), bajo la dirección del Dr. Eduardo E. Mariño.

Gastón Giambelli

19 de febrero de 2008

Departamento de Ciencias Naturales

FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PAMPA

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	4
ABSTRACT	5
1.- INTRODUCCIÓN	
1.1.- FUNDAMENTACIÓN DEL TEMA Y OBJETIVO.....	6
1.2.- ANTECEDENTES.....	6
1.3.- CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	7
1.3.1.- Ubicación y Población.....	7
1.3.2.- Clima.....	9
1.3.3.- Suelos.....	11
1.3.4.- Geomorfología.....	12
1.3.5.- Geología.....	12
1.3.6.- Hidrogeología.....	13
1.3.6.1- Acuífero de Quemú Quemú.....	14
1.3.6.2- Acuífero de General Pico-Dorila.....	15
1.3.6.3- Acuífero de Speluzzi.....	16
1.3.6.4- Acuífero de Intendente Alvear.....	16
2.- METODOLOGÍA	18
3.- TRATAMIENTO DE LOS REGISTROS FREATIMÉTRICOS	
3.1.- ANÁLISIS DE LAS FLUCTUACIONES DEL NIVEL FREÁTICO...20	
3.2.- CÁLCULO DE LA TASA DE RECESIÓN	
3.2.1.- Marco conceptual y datos de entrada.....	24
3.2.2.- Resultados.....	25
3.3.- ANÁLISIS ESTADÍSTICO	
3.3.1.- Introducción.....	26
3.3.2.- Análisis descriptivo.....	26
3.3.3.- Prueba de Kruskal-Wallis.....	28
3.3.4.- Prueba de la mediana.....	29
4.- DISCUSIÓN y CONCLUSIÓN	30
AGRADECIMIENTOS	31
BIBLIOGRAFÍA	32
ANEXO	37

RESUMEN

El área de estudio es un ambiente medanoso, ubicado en el Noreste de la provincia de La Pampa, que se desarrolla en una superficie de unos 7500 km² y aloja varios acuíferos significativos para la región, cuyo tipo climático es subhúmedo seco.

El trabajo presenta un análisis de las fluctuaciones del nivel freático y trata de determinar si las mismas responden a un patrón regional o a condiciones particulares de los sectores analizados.

Los datos disponibles son mediciones del nivel freático, cuyo período va desde el comienzo de la toma de dichos registros hasta el año 2001, en 4 redes de control existentes. Los registros obtenidos en 12 piezómetros seleccionados, se confrontan gráficamente con las precipitaciones anuales en la región y 4 de ellos, para el intervalo 1993-2001, reciben tratamiento estadístico por métodos no paramétricos.

Los resultados obtenidos tanto del análisis cuantitativo como cualitativo llevan a concluir que hay un comportamiento regional de las oscilaciones del nivel freático, al menos de acuerdo con el comportamiento de los piezómetros analizados. Para reafirmar esta evidencia preliminar, es necesario contar con una serie más prolongada que permita validar los métodos utilizados.

Palabras clave: nivel freático – dinámica regional – La Pampa – Argentina

ABSTRACT

Study area is a sandy plain that lies in NE of La Pampa province and has 7500 km² surface. Aquifers allocated in this environment constitute an important water resource for this region, which has a dry-subhumid climatic type.

Present paper was focused to know if water-table fluctuations respond to a regional pattern or to local conditions.

A hydrogeological analysis, supported by statistical tools, was applied to periodic measures of water-table depth in selected wells from 4 piezometric networks.

Results allow concluding that a regional component is present in the dynamic of water table, according to the selected checkpoints. This preliminary evidence needs to be improved with future analysis over longer piezometric records.

Key words: water table – regional dynamic – La Pampa – Argentina.

1.- INTRODUCCIÓN

1.1.- FUNDAMENTACIÓN DEL TEMA Y OBJETIVO

La medición de las variaciones de los niveles de agua en piezómetros y en pozos de observación es un aspecto muy importante para los estudios hidrogeológicos en general. Estos registros son de gran utilidad para el cálculo de la recarga (Rasmussen y Andreasen, 1959; Venetis, 1971; Gerhart, 1986; Johansson, 1986 y 1987; Olin y Svensson, 1992 y Healy y Cook, 2002). En Argentina fue aplicado por Mariño y Bonorino, 1996; Giai, 1997; Malán et al., 1993; Laurencena et al., 1999 y 2002; Varni; 2002, 2005 y Venencio y Varni, 2003. También se emplean como variable de ajuste de diferentes modelos hidrológicos (Varni, 2005) y como indicadores del régimen de explotación de un acuífero (Mariño y Dalmaso, 2003 y Arroyo, 2005). Estas aplicaciones, que requieren contar con mediciones periódicas de la profundidad del nivel freático, se ven facilitadas cuando los datos han sido previamente tratados e interpretados para conocer sus variaciones espaciales y temporales.

En el sector NE de la provincia de La Pampa se dispone de registros provenientes de una extendida red de piezómetros construida y operada por la Administración Provincial del Agua. Sin embargo, son escasos los trabajos dedicados a un tratamiento minucioso de los mismos. De ello, surgió el presente trabajo de investigación orientado al procesamiento y análisis de los registros freáticos existentes, con el fin de determinar su comportamiento espacial y temporal. Para dicho estudio se asume que en la provincia de La Pampa, el tipo climático subhúmedo seco determina una recarga de características episódicas, responsable de las fluctuaciones del nivel freático, las que deberían responder a una tendencia con validez regional modificada por las particularidades hidrogeológicas del entorno de cada sitio de medición.

Los resultados obtenidos pretenden suministrar información básica de importancia para la gestión de los recursos hídricos subterráneos en el área de estudio seleccionada.

1.2.- ANTECEDENTES

El Comité de Investigaciones de Aguas Subterráneas (Arigós, 1970) efectuó, entre 1966 y 1969, un censo hidrogeológico de la hoja IGM 3763-3, escala 1:100.000 (Pellegrini), cuyo extremo NO abarca parte de la localidad de Quemú-Quemú. Más tarde, la

Administración Provincial del Agua de La Pampa realizó un estudio hidrogeológico para la provisión de agua potable a la localidad (Malán y Schulz, 1988).

De la recopilación preliminar de antecedentes referidos al acuífero de General Pico-Dorila, surge que existe copiosa información hidrogeológica obtenida en diferentes relevamientos destinados a la localización de agua subterránea para el abastecimiento urbano. Con dicho objetivo se desarrollaron los siguientes trabajos: Orlandini (1951), Larrechea (1966 y 1969), Arigós (1970), Consultores del Plata-Ingemar SRL (1973), Sisul (1976) y Malán (1980 y 1983). Estos estudios consisten en el inventario de pozos existentes y, en algunos casos, en la ejecución, ensayo y muestreo de perforaciones.

Se efectuó un trabajo que abordó de manera integral la problemática del saneamiento urbano e incluye abundante información hidrológica (Consorcio EIH y ENE-I, 1987) y otro, enfocado al ajuste del régimen operativo de la batería de pozos (Consultora A. H. Risiga y Asociados, 1988). Entre los estudios dedicados al análisis de registros freaticos, podemos mencionar a Giai y Gatto Cáceres (1996), Mariño y Bonorino (1996) y Mariño y Dalmaso (2003).

La Administración Provincial del Agua de La Pampa realizó un estudio de fuentes del acuífero Speluzzi para la provisión de agua potable a la localidad (Miglianelli, 1981 y 1984).

En el transcurso de 1972 se llevó a cabo el estudio de fuentes de Intendente Alvear (Giai y de Ormaechea, 1973), donde se tuvieron en cuenta los trabajos anteriores realizados en la región, cuya cartografía temática brindaba un panorama de la distribución del agua potable (Tapia, 1962; Arigós, 1970). Malán y Miglianelli (1981) realizaron un informe para la ampliación y mejoramiento del servicio de agua. Luego Castro y Tullio (1991) efectuaron un replanteo y adecuación del servicio.

La Dirección General del SAPSA muestreó periódicamente los pozos de explotación del servicio. Castro y Tullio (1993) realizaron una caracterización hidrogeológica del abastecimiento de agua para la localidad de Intendente Alvear. Castro et al. (1996) determinaron la vulnerabilidad del acuífero y el riesgo de contaminación por actividades agropecuarias.

1.3.- CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

1.3.1.- Ubicación y población

El área de estudio se ubica en el NE de la provincia de La Pampa (Fig. 1.1), abarca parte de los departamentos de Chapaleufú, Maracó y Quemú Quemú y queda delimitada por

los paralelos de 35° y 36° 15' de latitud Sur y los meridianos de 63° 23' (limite con la provincia de Buenos Aires) y 64° Oeste. Posee una longitud de 138 km con una orientación N-S y un ancho de 57 km, totalizando unos 7866 km².

En ella se asientan las localidades de General Pico, Quemú Quemú e Intendente Alvear, comunicadas por vía terrestre a través de la Ruta provincial N°1, y Speluzzi, que se conecta a esta última arteria por medio de la Ruta Provincial N°7.

General Pico es la cabecera del departamento Maracó y tiene una población cercana a los 52.500 habitantes, constituyéndose en la segunda ciudad de la provincia después de la ciudad de Santa Rosa. Las otras localidades son más pequeñas, especialmente Speluzzi que cuenta con sólo 258 habitantes mientras que Quemú Quemú e Intendente Alvear tienen 3.577 y 6.624 habitantes respectivamente, de acuerdo al censo poblacional de 2001 (Fuente: www.indec.mecon.ar)

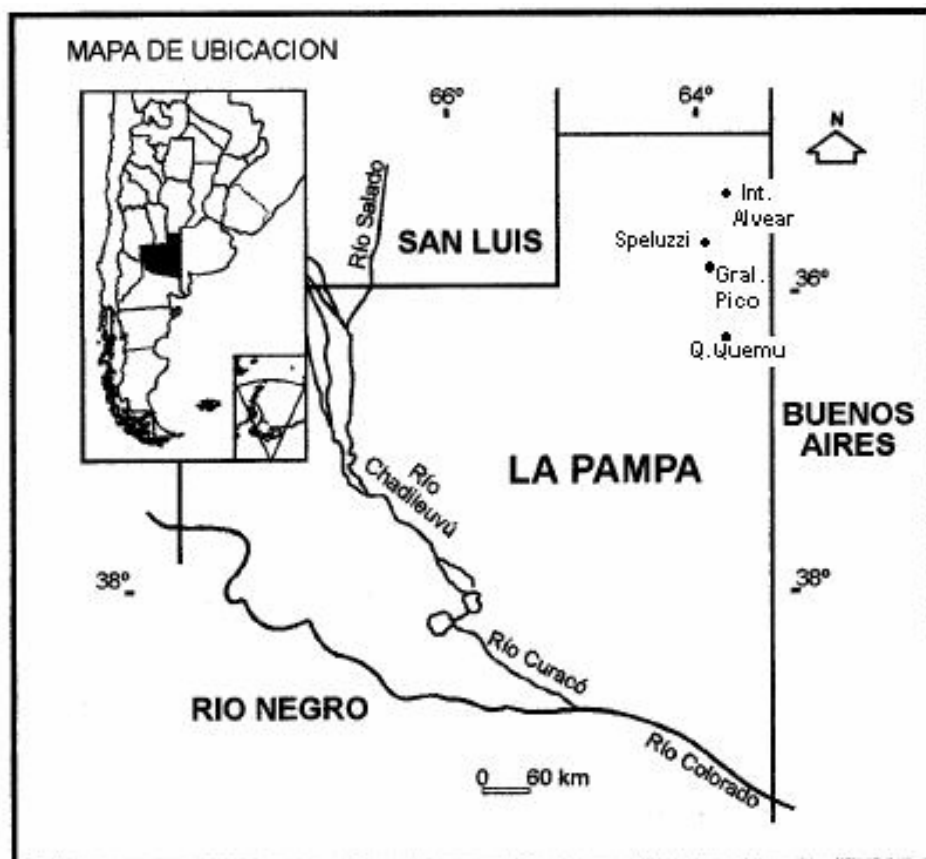


Fig. 1.1 – Ubicación del área de estudio.

1.3.2.- Clima

Climáticamente corresponde a la región hídrica subhúmeda seca con precipitaciones que oscilan entre los 600 y 750 mm anuales (Cano et al., 1980). Los registros presentan una variación espacial, en cuanto a sus valores medios anuales, mostrando un incremento en sentido WSW-ENE, con una media anual en el sector noreste de 870 mm y en el extremo suroeste de 500 mm, tomando los últimos 30 años de registros. Roberto et al. (1994), al trazar las isoyetas anuales y estacionales (divididas en trimestres) para el centro de la provincia de La Pampa en relación al período 1956-1990, observaron que se desplazaron considerablemente hacia el oeste con respecto a las del período 1921-1955. El corrimiento es particularmente perceptible en las isoyetas de mayor milimetraje que atraviesan precisamente la parte más oriental de la provincia, donde la isoyeta de 700 mm se habría desplazado unos 105 km hacia el oeste en el período 1956-1990.

El régimen térmico es templado con una temperatura media anual de 15,8°C, siendo la máxima media de 22,7°C y la mínima media 8,9°C, para el período 1961-2000, según datos del campo anexo a General Pico del INTA (G. Casagrande, 2007, comunicación escrita).

Los vientos predominantes son del N-NE y S-SW y su velocidad promedio alcanza los 14 km/h. El período de mayor intensidad se extiende desde septiembre a diciembre (Cano et al., 1980).

La figura 1.2 muestra los valores de la evapotranspiración potencial (ETP) y la precipitación mensual de la localidad de General Pico para el período 1977-2001. Los registros pluviométricos empleados fueron proporcionados por la Administración Provincial del Agua y los de temperatura media mensual son los obtenidos del campo experimental del INTA. La evapotranspiración potencial se calculó a través de la fórmula de Thornthwaite. El intervalo de aplicación (1977-2001) fue seleccionado por ser el período usado en diversos análisis en el presente trabajo.

Analizando el gráfico de la figura 1.2 se observa una deficiencia de agua en la época estival y en Agosto, mientras que el resto de los meses las precipitaciones superan a la evapotranspiración potencial.

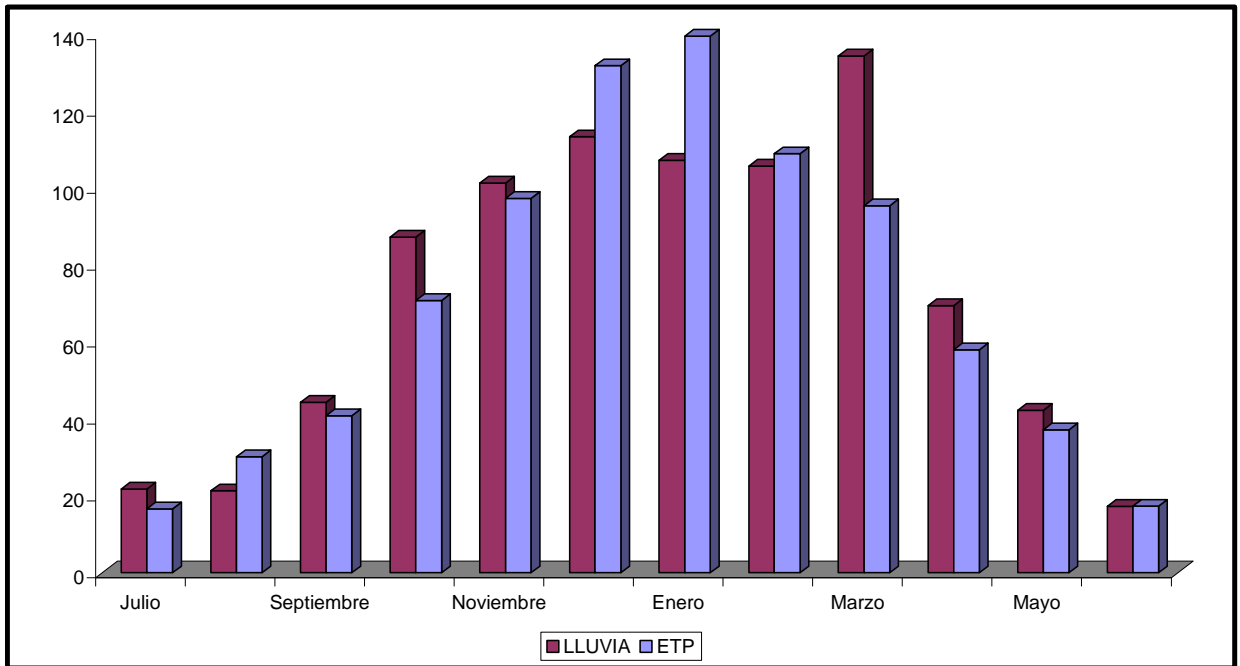


Fig. 1.2 – Evapotranspiración potencial y precipitación mensual en General Pico (1977-2001)

La figura 1.3 muestra las precipitaciones anuales de la localidad de General Pico, que se consideran representativas del resto de los sitios bajo estudio. Para el período 1977-2001, se exhiben como años lluviosos los intervalos 1984-1987, 1991-1992, 1996-1997 y 1999-2001, los cuales denotan marcas superiores al promedio de la serie (866.10 mm).

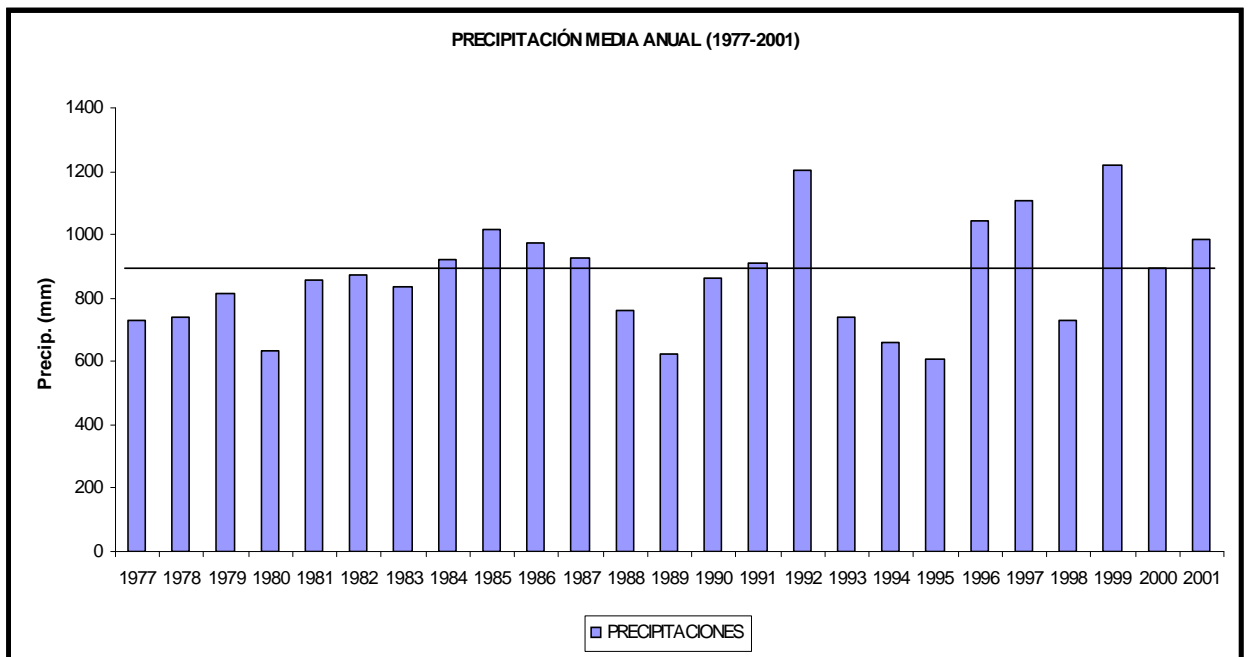


Fig. 1.3 – Precipitaciones Medias Anuales en General Pico (1977-2001)

La marcha anual de la lluvia está definida por dos períodos, uno seco en invierno y otro húmedo en verano (Schulz y Castro, 2005). En cambio es variable en los años húmedos, ya que mientras 1986 tiene una distribución regular de las mismas a lo largo del año, el 2001 muestra una concentración de las precipitaciones en primavera y en los años 1991 y 1992 se observa un notorio incremento en el mes de diciembre, con valores entre 200 y 300 mm.

1.3.3.- Suelos

De acuerdo al Inventario de los Recursos Naturales (Cano et al., 1980), el área de estudio está incluida en la Subregión de Planicies Medanosas, en la cual se distinguen las siguientes unidades cartográficas:

a) Planicie con cubetas, cuya ubicación dentro de la provincia solamente abarca la mitad E del departamento Chapaleufú, donde el área representativa es la localidad de Intendente Alvear, con llanos suavemente ondulados incluyendo cubetas, de 10 a 50 m de diámetro, con suelos ácidos. Estas depresiones cubren menos del 1 % de la unidad cartográfica.

El material parental se trata de una arena loéssica de reciente depositación, de textura franco arenosa fina, con 10 % de arcilla y 25 % de limo total, llegando al metro de profundidad posee cerca del 2 % de carbonato de calcio en concreciones y en la masa.

El suelo dominante tiene incipiente evolución genética, drenaje algo excesivo, permeabilidad rápida y escurrimiento casi nulo. Tienen régimen de humedad údico, marginal al ústico, temperatura térmica y su clase granulométrica es franco gruesa. El epipedón reúne las exigencias de un mólico.

b) Planicie medanosa ondulada, que se encuentra al Este de la provincia comprendiendo, respecto a nuestra zona de interés, los departamentos Maracó, Chapaleufú y Quemú Quemú. Son llanos ondulados que forman un paisaje de antiguos médanos hoy bastante rebajados, donde es posible observar algunos médanos vivos.

El material parental es igual que en la unidad anterior, con 10 % de arcilla y 15% de limo total. No se registra tosca hasta los 2 m de profundidad pero si carbonato de calcio en concreciones cerca del metro y en la masa próximo a los 2 metros. Poseen régimen de humedad ústico y temperatura térmica.

Los suelos integran una asociación y se clasifican taxonómicamente como un Haplustol éntico, familia arenosa, mixta térmica, cubriendo un 80 % de la superficie de la

unidad y en menor medida responden a un Ustipsament típico, familia silíceo, térmico. Son suelos con poca evolución genética.

1.3.4.- Geomorfología

Desde el punto de vista geomorfológico, el área corresponde a la “Subregión de las Planicies Medanosas (Cano et al., 1980) y posteriormente Calmels (1996) la incluyó en la unidad llamada “llanura pampeana de modelado eólico superimpuesto”. Los procesos morfogenéticos que actuaron fundamentalmente en esta área fueron eólicos (de acumulación y deflación) produciendo una capa arenosa de espesor variable.

Los médanos elongados y aislados se desarrollan con rumbo aproximado NNW-SSE en el sector central del área de estudio, preservando esta orientación hasta la localidad de Quemú Quemú donde se enmascaran con geoformas transversales ubicadas al oeste de esta zona.

Las geoformas mayores lucen como dorsales de significativa extensión longitudinal, las cuales limitan por el Oeste con amplias depresiones subparalelas y de carácter endorreico y hacia el Este se enlazan paulatinamente con el ambiente de llanura. En ciertos sectores se evidencia una alternancia de geoformas positivas y negativas, con elevaciones aisladas entre las que se disponen pequeños bajos, convertidos en lagunas en función de las condiciones hidrológicas (Schulz y Castro, 2005).

1.3.5.- Geología

Giai y Gatto Cáceres (1996) describen, sobre la base de datos de una perforación ubicada en cercanías de la localidad de General Pico, dos niveles que resultan más relevantes desde el punto de vista hidrogeológico por ser portadores del acuífero de la zona. El nivel superior (Fig. 1.4) es una capa arenosa de origen eólico, que podría asignarse al Holoceno y cuyo espesor es variable desde decímetros en las depresiones hasta varios metros (15 m) en las zonas medanosas. Por debajo aparece una capa de carbonato de calcio (tosca) que llega a tener hasta dos metros de espesor. Subyacen a ésta los sedimentos loésicos de la Formación Cerro Azul (Linares et al., 1980), asignada al Mioceno superior (Goin et al., 2000), constituida en la parte superior por arenas finas y limosas y hacia la base se vuelve más limosa hasta llegar a ser limo-arcillosa. Entre las denominaciones informales más conocidas que recibieron estos sedimentos cabe citar las de “formación Pampeano” (Stappenbeck, 1926,

Salso, 1966) y “formación Pampa” (Giai, 1975). La columna continúa hacia abajo con un espesor de 100 metros de arcillas verdes y castañas, arenas gruesas y medianas con arcillas grises intercaladas, atribuibles al Mioceno Inferior. La perforación descrita alcanza, entre los 235-265 m.b.b.p., areniscas cuarzosas, litológicamente correlacionables con aquellas descriptas para la cuenca de Laboulaye y que fueran asignadas al Triásico (Irigoyen, 1975).

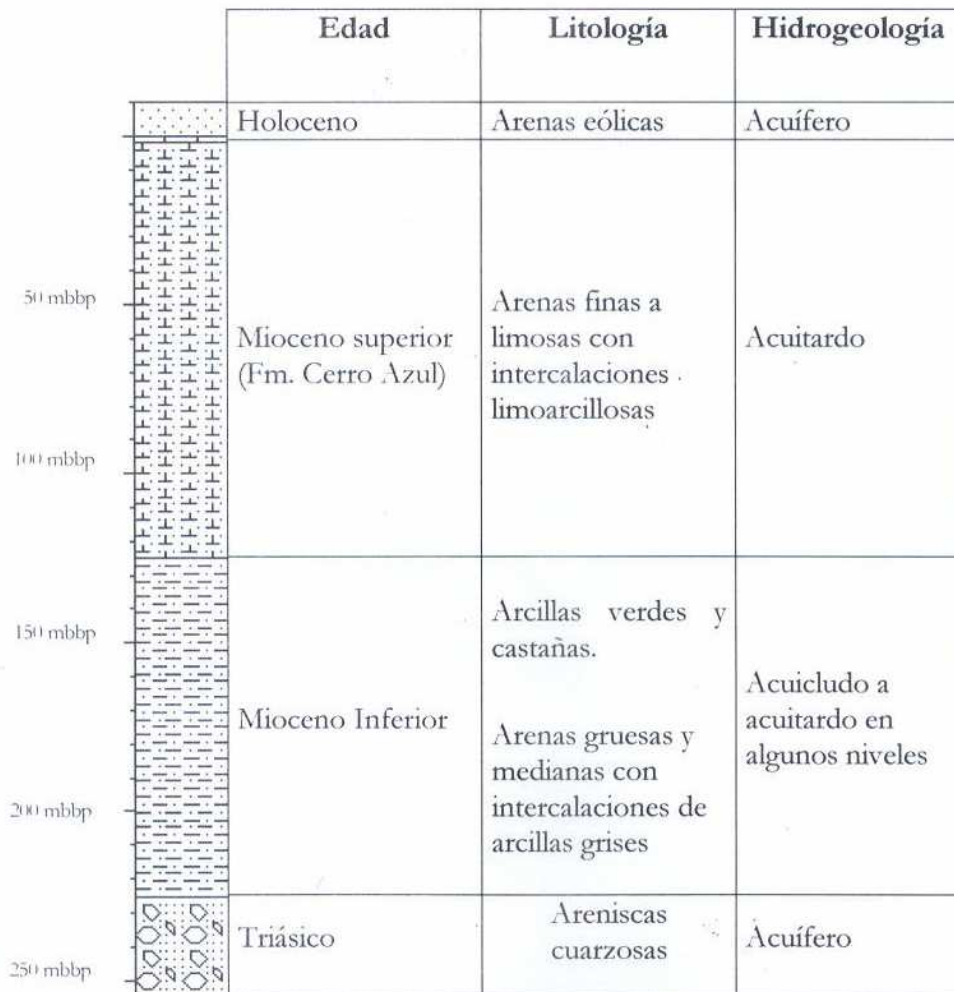


Fig. 1.4 – Cuadro hidroestratigráfico (tomado de Mariño, 2003).

1.3.6.- Hidrogeología

En primer término, se hará una breve reseña de las características hidrogeológicas del área de estudio y posteriormente se comentarán las particularidades de cada uno de los acuíferos tratados en este trabajo.

La capa arenosa superior suele alojar espesores saturados con una permeabilidad importante (de 10 a 20 m/d) pero sin llegar a ser un acuífero relevante dado su espesor reducido (de hasta 10 m). Así, la Formación Cerro Azul, con características de acuitardo y una marcada disminución de la permeabilidad (de 2 a 3 m/d), constituye el reservorio principal (Malán, 1983), la cual se caracteriza por una fuerte anisotropía vertical.

La recarga se produce por la infiltración del agua de lluvia y está condicionada por la variabilidad geomorfológica del área. Las geformas elevadas se comportan como áreas de recarga, en tanto que las depresiones, aun aquellas pequeñas de ubicación intermedanasas, actúan como áreas de descarga, formando lagunas o bañados permanentes o temporales. Las áreas de conducción se ubican en sectores intermedios con respecto a los anteriores, de relieve predominantemente llano y con pendiente oriental (Schulz y Castro, 2005).

De acuerdo al trabajo sobre la morfología de la superficie freática de la provincia de La Pampa realizado por Giai (1987), el sitio en estudio estaría comprendido dentro del “área nororiental”. El rasgo más saliente de la superficie freática de esta zona se manifiesta a través de isopiezas aproximadamente paralelas, a grandes rasgos coincidentes con las topográficas, indicando una dirección de flujo oeste-este.

Los acuíferos de la región son aprovechables para el consumo humano, por limitaciones de calidad, hasta los 25 a 30 m de profundidad. Por debajo aumentan significativamente los valores de flúor y arsénico. Los bajos o depresiones, en muchos casos, con tenores salinos de más de 12 g/l de sales totales y/o por excesos marcados de los oligoelementos mencionados, resultan inaprovechables (Tullio, 1998).

1.3.6.1.- Acuífero de Quemú Quemú

En coincidencia con la localidad de Quemú Quemú se ubica el acuífero del mismo nombre, cuya extensión sobrepasa en algunos sectores el ejido urbano.

Malán y Schulz (1988), en el estudio para proveer de agua potable a la localidad, determinaron los parámetros hidráulicos del acuífero alojado en el “pampeano” a través de ensayos de recuperación en pozos de bombeo en la mayoría de los casos, obteniendo para el primer sector del acuífero ensayado (hasta 18 metros de profundidad) una transmisividad que osciló entre 94 y 204 m²/día y para una profundidad de 26 metros, el valor medio es de 200 m²/día.

La superficie freática acompaña, atenuadamente, a la topografía, con niveles estáticos entre 5 y 6 m de profundidad en las partes elevadas, hasta aflorar en los bajos, que actúan como áreas de descarga local (Giai y Tullio, 1998).

El agua de mejor calidad se ubica en el noreste y oeste de la localidad, en coincidencia con la zona de recarga, con valores bajos de salinidad (300 a 1000 mg/l), cloruro (8 a 100 mg/l), flúor (0,8 a 2 mg/l) y dureza (70 y 200 mg/l). En el área de descarga, localizada principalmente hacia el suroeste de la comarca en cuestión, se evidencia un aumento de la salinidad llegando hasta valores de 6000 mg/l, con un pequeño incremento en la dureza (entre 150 y 350 mg/l). Cabe aclarar, que esta caracterización hidroquímica corresponde a la parte superior del acuífero, con una profundidad máxima de análisis no mayor a los 15 metros (Schulz, 1997).

1.3.6.2.- Acuífero de General Pico-Dorila

Ambas localidades se sitúan sobre un acuífero desarrollado en una faja medanosa de rumbo nor-noroeste sur-sureste, de unos 10 km de longitud.

En la secuencia formada por las arenas eólicas y los sedimentos loésicos infrayacentes, se aloja un acuífero libre con drenaje diferido. Malán (1983) delimitó, en base a la aptitud del agua para el consumo humano, una superficie de 90 km² y un espesor aprovechable, por limitaciones de calidad, de 25 metros.

La piezometría pone de manifiesto direcciones de escurrimiento hacia el este y suroeste, a partir de líneas equipotenciales en forma de V con el vértice orientado hacia el sur-sureste (Giai y Tullio, 1998).

Malán (1980) determinó parámetros hidráulicos para el nivel arenoso, cuyo comportamiento es netamente acuífero. Los mismos se obtuvieron a través de ensayos de bombeo, utilizando el método de Theis, en dos perforaciones que alcanzaron una profundidad de 12 metros b.b.p. Los valores resultantes en cada uno de los pozos fueron de 17 y 29 m/d, para la permeabilidad, y de 0,17 y 0,11, para el rendimiento específico.

El cordón medanoso actuante como área de recarga presenta contenidos de sales totales menores a 1000 mg/l y tenores de flúor y arsénico por debajo de 2 mg/l y 0.1 mg/l respectivamente. En la zona de conducción y descarga aumentan tanto el contenido de sales como el tenor de los oligoelementos citados (Malán, 1980).

1.3.6.3.- Acuífero de Speluzzi

El acuífero de Speluzzi se ubica mayormente al norte de la localidad del mismo nombre, con una orientación N-S y una superficie aproximada de 69 km².

Las aguas de buena calidad se localizan en la parte superior de la Fm. Cerro Azul, hasta los 30 a 40 m, aunque en ocasiones se ve restringida por un exceso de flúor y/o arsénico. Si bien la salinidad es aceptable en la mayor parte del espesor de la lente, está relacionada a la morfología del área (Miglianelli, 1984).

En coincidencia con los altos topográficos, se halla una divisoria de aguas subterráneas, de rumbo Norte-Sur, sufriendo una pequeña bifurcación al llegar a Speluzzi y continuando hacia el sur para unirse con la divisoria del acuífero General Pico-Dorila. Las partes bajas ubicadas hacia el Este y Oeste de la dorsal dan lugar a las zonas de descarga (Miglianelli, 1984).

Miglianelli (1981) obtuvo, por medio de ensayos de bombeo en tres perforaciones, los siguientes parámetros hidráulicos: transmisividad de 100 a 200 m²/d, permeabilidad entre 2.2 y 9 m/d y un coeficiente de almacenamiento de 1.8×10^{-3} y 7.3×10^{-3} , para las distintas secciones ensayadas.

1.3.6.4.- Acuífero de Intendente Alvear

Este reservorio se encuentra al suroeste de Intendente Alvear, en lo que hace tiempo fuera la estancia Las Mercedes.

Consiste de dos niveles acuíferos con particularidades hidráulicas bien definidas pero relacionados entre sí. Uno de ellos, con características de libre o freático, está alojado en la formación arenosa, con arena mediana a gruesa, y presenta buena permeabilidad, del orden de los 20 m/día, de acuerdo a los datos de ensayos hidráulicos (E. Castro, 2007, comunicación escrita). El otro, que representa la continuidad hacia abajo del anterior, tiene una granulometría más fina, apareciendo proporciones crecientes de limo, y cementación calcárea. Esto condiciona algunos aspectos hidráulicos y determina rendimientos menores que los del nivel superior. Los valores de almacenamiento son relativamente bajos, del orden de 2×10^{-3} , en el acuífero loessico, y de 2×10^{-2} , en el arenoso (E. Castro, 2007, comunicación escrita).

El análisis hidroquímico determinó que se trata de aguas dulces y de tipo bicarbonatadas sódicas. El área con agua subterránea de buena calidad se corresponde con médanos con un relieve marcado, por haberse activado en épocas recientes (Tullio et al., 1998). El contenido máximo en sólidos disueltos es del orden de los 1552 mg/l (Bomba N° 1),

mientras que el mínimo es de 310 mg/l (Bomba N° 3). El flúor salvo excepciones está por debajo de los 2 mg/l (Castro et al, 1996).

2.- METODOLOGÍA

Para la ejecución del proyecto se tomaron los registros piezométricos correspondientes a las redes de control de Quemú Quemú, General Pico, Speluzzi e Intendente Alvear. La instalación de los freáticos se debe a la necesidad de investigar la capacidad de los acuíferos para abastecer de agua potable a las localidades mencionadas.

Las mediciones, con una periodicidad aproximadamente mensual, fueron realizadas por la Administración Provincial del Agua y para el análisis se utilizó un período que va desde el inicio de cada una de las series hasta el año 2001. Los registros más extensos son los correspondientes a General Pico y Speluzzi.

La localidad de Quemú Quemú cuenta con 3 freáticos, ubicados al Noroeste de la misma y alineados con orientación NE-SO, como se observa en la figura A.1 (en Anexo). Dos de ellos, los piezómetros N° 2 y 3, están dentro del área de influencia de la explotación del acuífero mientras que el N° 1, está más alejado.

General Pico posee tres líneas de control, originalmente compuestas por 23 piezómetros, algunos de los cuales se encuentran fuera de servicio. La línea II coincide con la divisoria subterránea, con una ubicación aproximadamente NNO-SSE, y las dos restantes la atraviesan al sur de la planta urbana, con una orientación NE-SO (Fig. A.2, en Anexo).

El acuífero de Speluzzi cuenta con 10 puntos de control, los cuales en su mayoría se ubican al norte de dicha ciudad, a excepción de los piezómetros VII y VIII que se encuentran en el ejido urbano y al sur del mismo respectivamente (Fig. A.3, en Anexo).

Intendente Alvear tiene 16 freáticos, ubicados al suroeste de dicha localidad, distribuidos adecuadamente para cubrir el sector de explotación, cuya superficie aproximada es de 750 has. (Fig. A.4, en Anexo)

En la tabla 2.1 se ilustra el período y los piezómetros seleccionados para el análisis en cada localidad. En la elección de los mismos se tuvo en cuenta su lejanía con respecto a las baterías de explotación y su ubicación en relación con las respectivas divisorias de agua de cada acuífero tratado en el presente trabajo.

Tabla 2.1.- Piezómetros seleccionados en cada red de control.

LOCALIDAD	PIEZÓMETRO	PERÍODO
QUEMÚ QUEMÚ	Pz 1	1986-2001
SPELUZZI	Pz II, V, VII	1984-2001
INT. ALVEAR	Pz E, F, X	1993-2001
GRAL. PICO	LINEA I - Pz 5, 11	1977-2001
GRAL. PICO	LINEA II - Pz 2, 3, 7	1978-2001

El análisis de dichos registros insumió una serie de tareas que se detallan a continuación:

1. Recopilación y análisis de material bibliográfico existente relacionado con la hidrogeología, edafología, geología, geomorfología y climatología del área en cuestión.
2. Sistematización de los registros piezométricos de cada localidad para un posterior análisis de los mismos.
3. Tratamiento de las fluctuaciones del nivel freático:
 - Confección de hidrogramas y comparación de los mismos con las precipitaciones anuales.
 - Cálculo de la tasa de recesión a partir de intervalos de nivel descendente.
4. Análisis estadístico de los registros piezométricos:
 - Formulación de un análisis exploratorio de datos (cálculo de medidas de posición y dispersión y gráficos exploratorios).
 - Análisis estadístico inferencial con el propósito de arribar a resultados arealmente representativos (Prueba de Kruskal-Wallis y Test de la mediana).

3.- TRATAMIENTO DE LOS REGISTROS FREATIMÉTRICOS

3.1.- ANÁLISIS DE LAS FLUCTUACIONES DEL NIVEL FREÁTICO

El registro correspondiente a **Quemú Quemú** comienza con una etapa con niveles cercanos a la superficie correspondientes al primer año de la serie y se identifican dos períodos con marcados descensos (1987-1991 y 1993-1995) concordantes con registros pluviométricos anuales por debajo de los 921.77 mm, los cuales son seguidos por años (1992, 1997 y 1999-2001) donde las precipitaciones superan dicho valor y se observan fases ascendentes de los niveles (Fig. 3.1). El rango de fluctuación máximo es del orden de los 2 metros, siendo este valor máximo el más bajo de todos los piezómetros examinados en el área de estudio del presente trabajo. Los valores extremos son de 3.74 (31/12/01) y 5.9 metros (4/10/95).

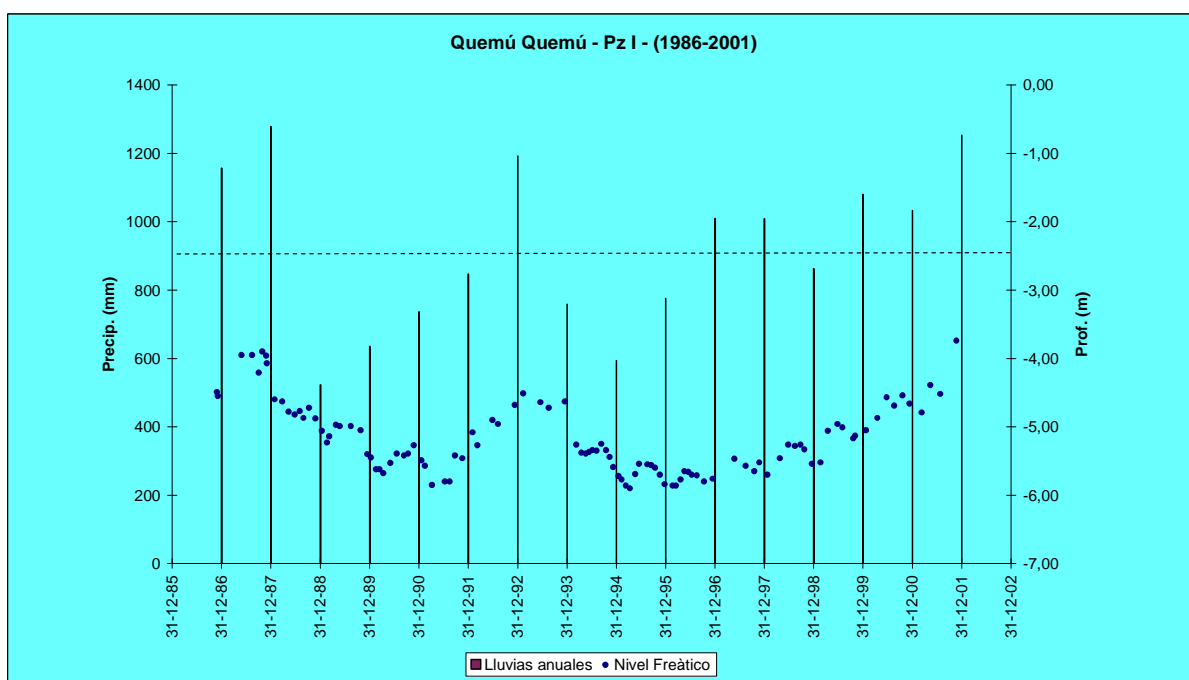


Figura 3.1 - Variación del nivel freático en el piezómetro 1 de la red de control de Quemú Quemú (Período 1986-2001) y su relación con las precipitaciones.

En **General Pico** se analizaron los piezómetros detallados en la tabla 2.1 y el comportamiento observado muestra que existe una fuerte dependencia entre la evolución de los registros freáticos y las precipitaciones anuales. En general, los niveles más altos se presentan en 1986/87, 1992/93 y 2000/01 y los más profundos en 1978, 1984/85, 1988/90 y 1994/96, con una amplitud de las oscilaciones del orden de los 2.7 m. Algunos de estos

máximos de somerización o profundización del nivel freático están precedidos por lapsos relativamente prolongados con tendencia ascendente o descendente. Estos lapsos se visualizan en los pozos 5 (Figuras 3.2) y 11 (Figura A.5, en Anexo) de la línea I, en los cuales se evidencian las siguientes situaciones:

- Lapsos de ascenso: agosto/1983 - mayo/1986, agosto/1991 - febrero/1993, octubre 1996 -enero 1998 y febrero/1999 - junio/2000
- Lapsos de descenso: abril/1987 - febrero/1990 y junio/1993 - octubre/1996

Si bien en ambos piezómetros los lapsos son coincidentes, el pozo 11 se caracteriza por mantener un nivel más somero, con una diferencia 0.5 m, lo que puede atribuirse a su ubicación más alejada de la divisoria de aguas, hacia la zona de descarga.

En la línea II, se diferencia el pozo 2 (Fig. 3.3) porque muestra la menor fluctuación de los 5 puntos seleccionados, con un valor mínimo de -0.62 y un máximo de -2.98 m. Los piezómetros 3 y 7 (Figuras A.6 y A.7, en Anexo) presentan valores extremos semejantes de -1.29 y -4.06 .

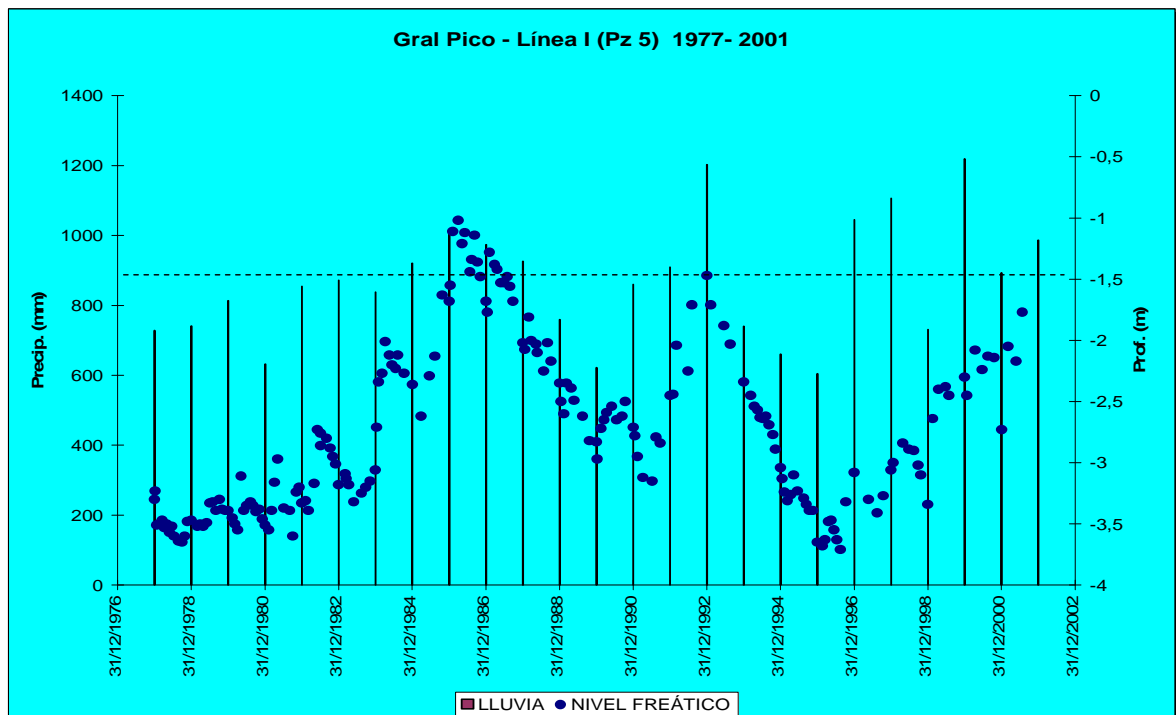


Figura 3.2 - Variación del nivel freático en el piezómetro 5 de la línea I de la red de control de General Pico (Periodo 1977-2001) y su relación con las precipitaciones.

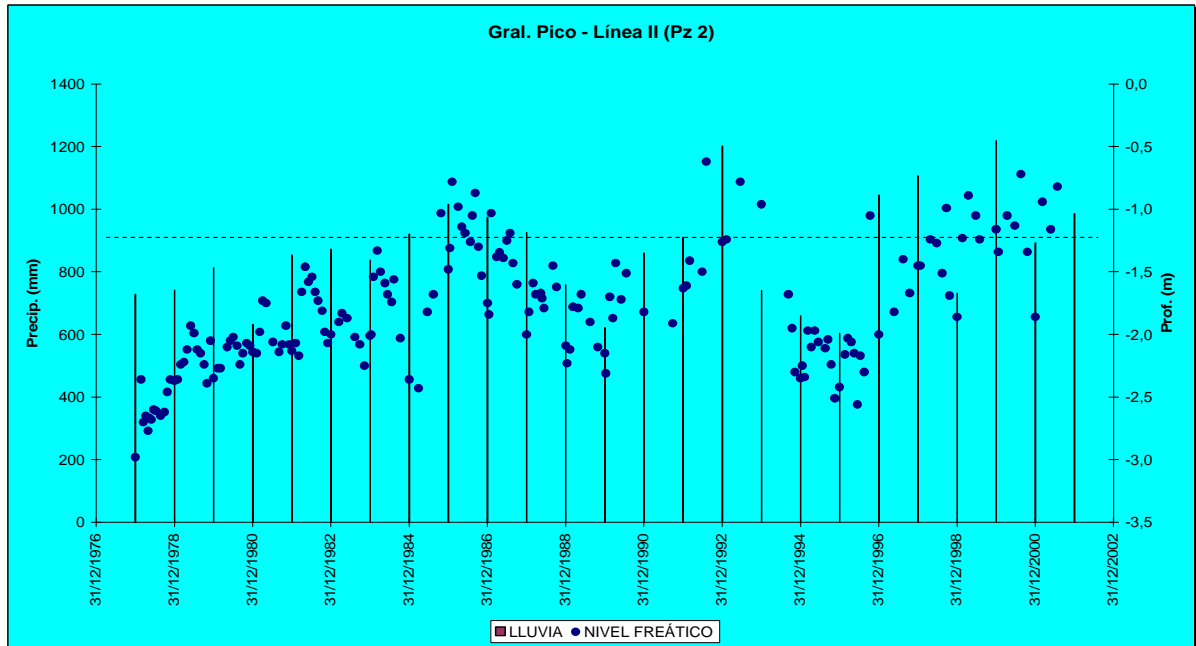


Figura 3.3 - Variación del nivel freático en el piezómetro 2 de la línea II de la red de control de General Pico (Periodo 1978-2001) y su relación con las precipitaciones.

En **Speluzzi** los tres piezómetros seleccionados presentan variaciones freáticas semejantes a grandes rasgos en toda la serie (1983-2001), ya que la magnitud de los ascensos y descensos tienen cierta proporcionalidad. El último ascenso logra mantener cierta somerización hasta el final de la serie y contiene los puntos más elevados.

El piezómetro II (Fig. 3.4) registró su mayor profundidad (3,87 m) el 10/10/86 y su nivel más somero fue de 1,14 m (19/12/01). En los freáticos V y VII (Fig. A.8 y A.9, en Anexo) los niveles son más profundos, con valores máximos de 6,23 y 7,41 m (10/01/84) y mínimos de 1,49 y 2,41 m (10/01/84), respectivamente.

En **Intendente Alvear** se observa en todos los freáticos, en mayor o menor grado, un paulatino ascenso de los niveles a través de los años, a partir fines de 1996. Desde el 93 al 96 se evidencia un descenso continuo hasta llegar a los valores más bajos de cada serie, esta caída es coincidente con registros pluviométricos anuales por debajo de la media.

Los freáticos E y F (Figs. A.10 y A.11, en Anexo) presentan una gran similitud a lo largo de toda la serie, con un valor máximo cercano a -3 m y un mínimo de -7.16 y -7.40 m, respectivamente. Se ubican a poca distancia uno del otro, lo cual determinaría su relativa semejanza a lo largo de todo el período evaluado.

El piezómetro X (Fig. 3.5) se eligió por estar posicionado a cierta distancia de los anteriormente mencionados y de los pozos de explotación del acuífero. Registra su nivel más profundo el 15 de marzo de 1996 (-8.89 m) y el más somero (-5.03 m), al final de la serie.

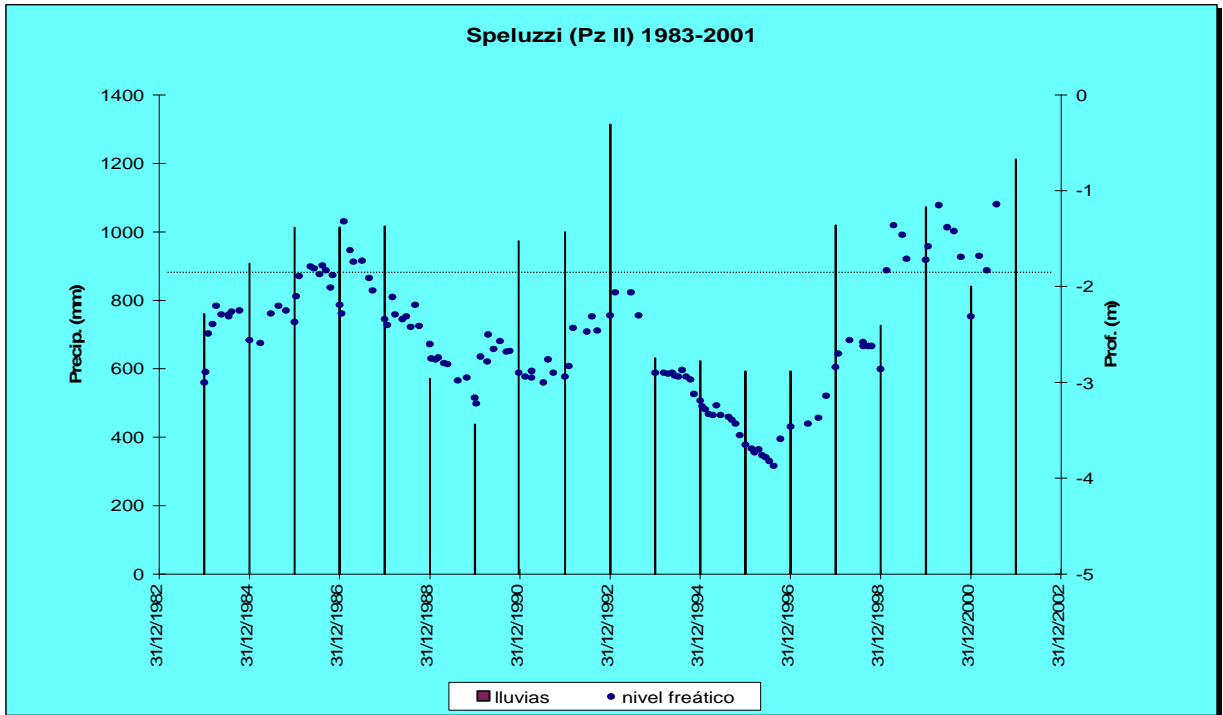


Figura 3.4 - Variación del nivel freático en el piezómetro II de la red de control de Speluzzi (Período 1983-2001) y su relación con las precipitaciones.

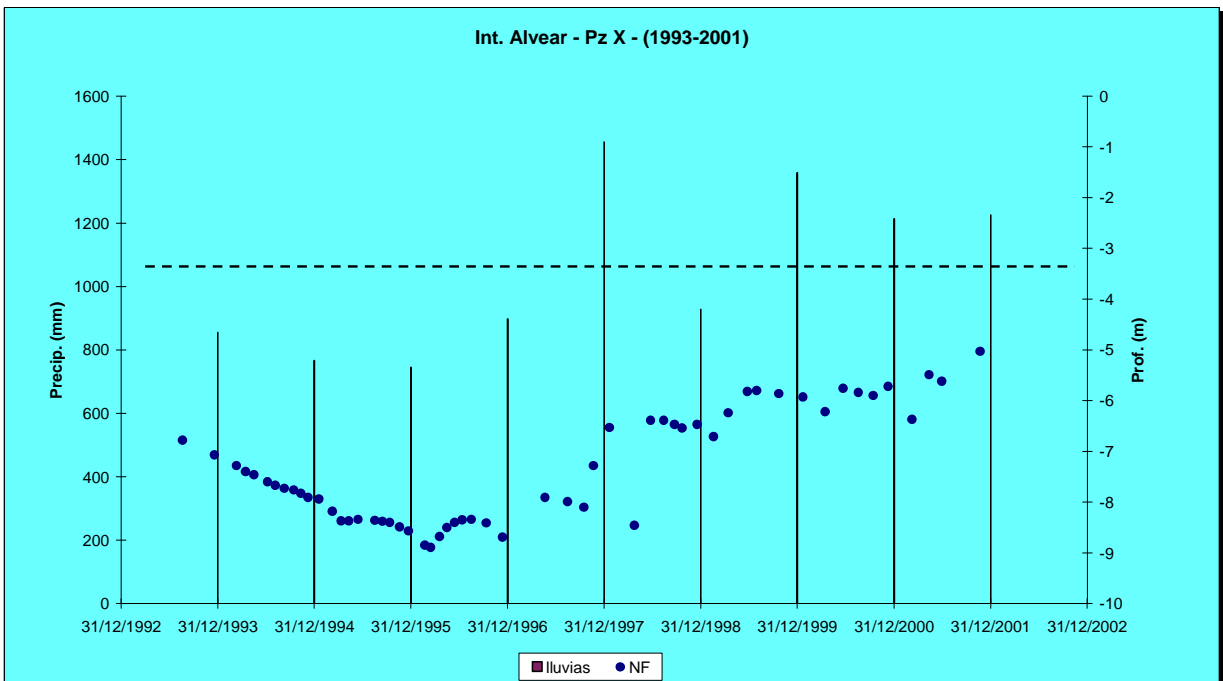


Figura 3.5 - Variación del nivel freático en el piezómetro X de la red de control de Intendente Alvear (Período 1993-2001) y su relación con las precipitaciones.

La figura 3.6 muestra el comportamiento de 4 piezómetros, pertenecientes cada uno de ellos a una de las redes de control de las localidades en estudio. Se utilizó el periodo 1993-2001, por ser común a todos los registros disponibles. Del gráfico surge una apreciable similitud en el comportamiento del nivel freático, a lo largo de la serie en todos los piezómetros tratados.

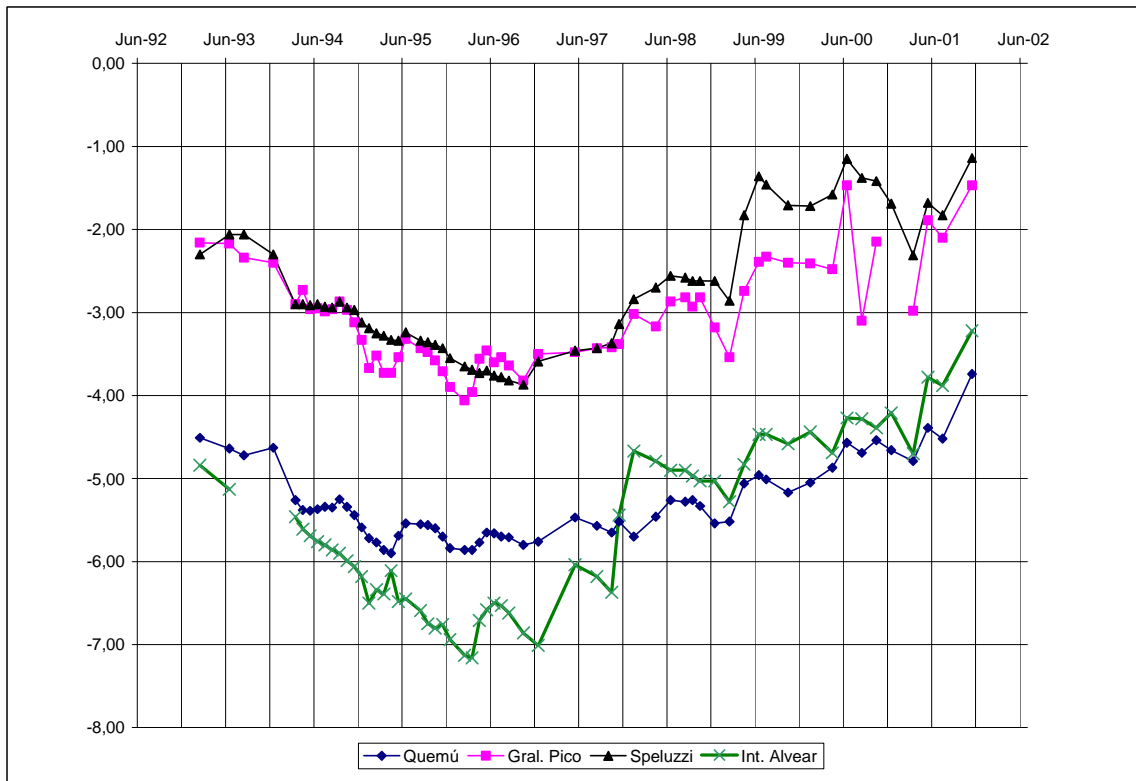


Figura 3.6.- Variación del nivel freático en 4 piezómetros seleccionados de cada una de las redes analizadas (Período 1993-2001)

3.2.- CÁLCULO DE LA “TASA DE RECESIÓN”

La “tasa de recesión” se calculó por ser un dato útil en la estimación de la recarga, a través del método de análisis de variación del nivel freático que se caracteriza por su simplicidad y requerir sólo de un buen registro freaticométrico. Sin embargo, es necesario contar también con valores confiables de dicha tasa, ya que si está sobreestimada, el resultado que se logre al evaluar la recarga también lo estará (Arroyo, 2005).

3.2.1.- Marco conceptual y datos de entrada

Durante un período sin recarga, en un acuífero no afectado por bombeo y donde la evapotranspiración directa es nula, la fluctuación del nivel freático será igual a la diferencia

entre el caudal subterráneo entrante y saliente del área estudiada, es decir que la profundización del nivel freático durante este lapso correspondería al agua que sale del área por escurrimiento subterráneo. Este valor diario de descenso del nivel freático es el que Olin (1995) denomina "tasa de recesión" (TR), la cual se obtiene dividiendo la magnitud del descenso del nivel freático (Δh) por los días que abarca cada período (t) y multiplicándolos por la porosidad efectiva (S) del nivel acuífero en el que tiene lugar la fluctuación piezométrica:

$$TR = (\Delta h.S / t)$$

Los piezómetros utilizados en el cálculo son los detallados en la Tabla 2.1 y corresponden a puntos de control ubicados relativamente fuera del área de influencia de las baterías de bombeo de cada localidad. Los intervalos seleccionados se caracterizan por ser períodos donde no se registra precipitación y cuya duración se aproxima a los 15 días, recomendados por Olin (1995).

Para la localidad de General Pico se tomó un rendimiento específico de 0,11, que es el menor de dos valores obtenidos en ensayos de bombeo del nivel arenoso superior (Malán, 1983), al igual que para Speluzzi por su cercanía a la ciudad anteriormente mencionada. En Intendente Alvear se asumió un coeficiente de almacenamiento de 0.02 (E. Castro, 2007, comunicación personal). En Quemú Quemú se adoptó, para el nivel acuífero donde tienen lugar las fluctuaciones piezométricas, una porosidad efectiva de 0.05 (Malán y Schulz, 1998).

3.2.2.- Resultados

Los valores promedios obtenidos para cada uno de los acuíferos se pueden observar en la Tabla 3.1. Los resultados muestran un valor casi idéntico, del orden de los 0.3 mm/día, para General Pico, Quemú Quemú y Speluzzi. En Intendente Alvear se obtuvo una tasa mucho menor (0.05 mm/día), la cual se debería al bajo coeficiente de almacenamiento adoptado.

Tabla 3.1.- Valor medio de la tasa de recesión

LOCALIDAD	TR (mm/día)
Quemú Quemú	0,29
General Pico	0,31
Speluzzi	0,31
Intendente Alvear	0,05

3.3.- ANÁLISIS ESTADÍSTICO

3.3.1.- Introducción:

El análisis se realizó con el objetivo de arribar por medio de la estadística a resultados que confirmaran la hipótesis formulada, utilizando una medida de confiabilidad de los mismos.

De cada una de las redes de control de las localidades en estudio, se seleccionó un piezómetro y de éste se tomó la serie 1993-2001, por ser común a todos los registros disponibles. El tratamiento estadístico de los datos se llevó a cabo por medio del programa Statistica (Versión 6.0).

En la fase exploratoria se realizó el cálculo de las medidas de posición y dispersión y se confeccionaron los Box & Plots, los cuales fueron una herramienta útil a fin de entender la variabilidad del modelo.

Para el análisis inferencial se tomó, como variable de interés, la media de las mediciones de la profundidad del nivel freático de cada año y con anterioridad a dicho análisis, se efectuó el test de Levene, el cual realiza un ANOVA de los residuos para comprobar la homocedasticidad de las varianzas.

Como consecuencia de no verificarse las hipótesis clásicas (normalidad y homocedasticidad), se empleó la prueba de Kruskal-Wallis, que se caracteriza por ser un procedimiento de libre distribución o no paramétrico. Adicionalmente, se usó la prueba de la mediana con la finalidad de confirmar los resultados.

3.3.2.- Análisis Descriptivo

En la tabla 3.2 se presentan las medidas de posición (media aritmética, mediana, mínimos y máximos) y de dispersión (varianza y desvío estándar) de la profundidad del nivel freático de los piezómetros seleccionados para cada una de las localidades, durante el período 1993-2001. Las figuras 3.7 y 3.8 muestran los diagramas (Box & Plots) donde se ilustran las diferencias en la distribución de la variable.

Tabla 3.2 - Estadística descriptiva de los datos piezométricos (serie 1993-2001)

LOCALIDAD	MEDIA	MEDIANA	MINIMO	MAXIMO	VARIANZA	DESVO
QUEMÚ QUEMÚ	3,198	3,420	2,110	3,930	0,347	0,589
GENERAL PICO	3,100	2,980	2,270	3,680	0,235	0,484
SPELUZZI	2,833	2,900	1,840	3,730	0,358	0,598
INT. ALVEAR	3,028	3,160	1,590	4,270	1,124	1,060

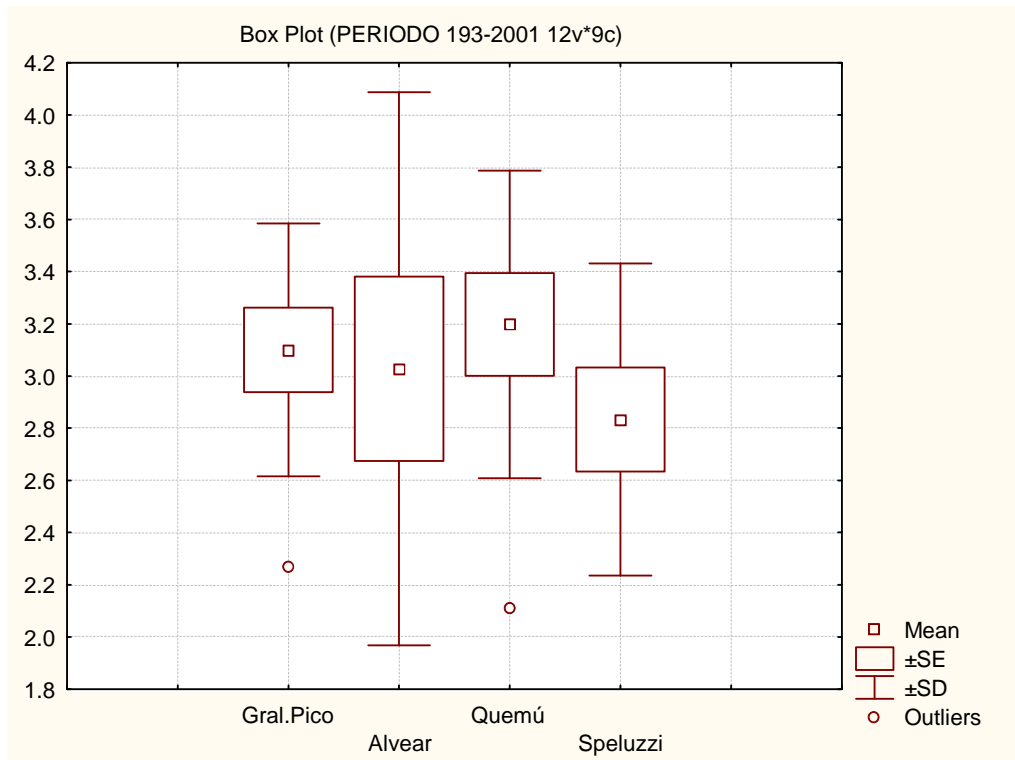


Fig 3.7 – Diagrama de distribución, con la media como medida de posición, (Serie 1993-2001)

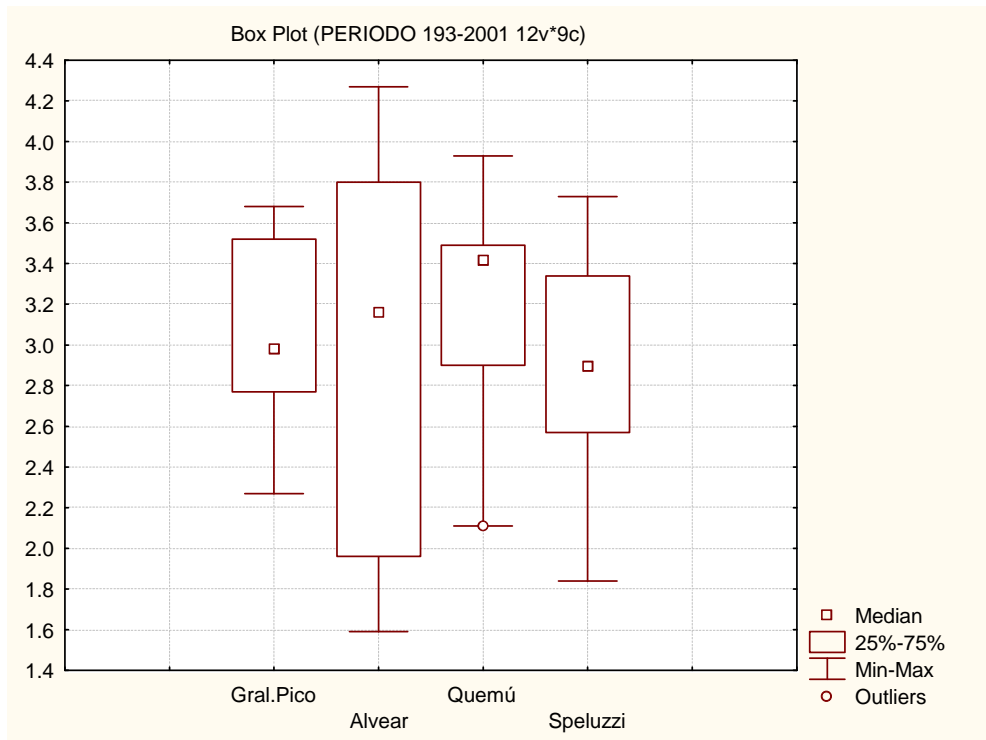


Fig. 3.8 - Diagrama de distribución, con la mediana como medida de posición (Serie 1993-2001).

Ambos diagramas permiten inferir la diferencia de varianza de Intendente Alvear con el resto de las localidades. Por tal motivo, se realizó el Test de Levene para confirmar dicha presunción. La tabla A.1 (en Anexo), muestra los resultados, de los cuales surge que no existe homocedasticidad de las varianzas (F= 4.681 y P=0.008).

3.3.3.- Prueba de Kruskal-Wallis

Mientras que la suposición de normalidad y la homogeneidad de varianzas es requerida para la validez de la prueba de F del Análisis de Varianza de un factor, la validez de la prueba de Kruskal-Wallis para probar la igualdad de las μ_i (media de la poblaciones I) depende sólo de que las ϵ_{ij} (componente del error aleatorio) tengan la misma distribución continua (Devore, 2005).

El análisis de varianza de una clasificación por rangos de Kruskal–Wallis es una prueba extremadamente útil para decir si k grupos independientes son de poblaciones diferentes. La técnica examina la hipótesis de nulidad (H_0) que supone que las K muestras proceden de la misma población o de poblaciones idénticas con respecto a los promedios (Siegel, 1991).

Requiere que cada una de las N observaciones sean reemplazadas por rangos. Es decir, el puntaje (registro) más pequeño es reemplazado por el rango 1 hasta llegar al más grande, el cual es sustituido por el N (número total de observaciones del conjunto de datos) y posteriormente se calcula la suma de los rangos de cada muestra.

Para comprobar si H_0 es verdadera se utiliza el estadístico de prueba H. El mismo tiene una distribución aproximadamente χ^2 (chi cuadrada) con K-1 grados de libertad (gl), siempre que los tamaños de las diferentes K muestras no sean demasiado pequeñas ($n_j > 5$) y estas sean mayores a 3. Entonces H es:

$$H = \frac{12}{N(N + 1)} \sum_{j=1}^k \frac{R_j^2}{n_j} - 3(N + 1)$$

donde k = número de muestras

n_j = número de casos en la muestra de orden j

$N = \sum n_j$, el número de casos de todas las muestras combinadas

R_j = suma de rangos en la muestra de orden j

$\sum_{j=1}^k$ = indica sumar las k muestras (columnas)

Esto implica que si H es mayor o igual que χ^2 (valor tabulado) en el nivel de significancia (α) fijado previamente y para $gl=K-1$, H_0 puede rechazarse en ese nivel de significancia.

Los resultados de la prueba de Kruskal-Wallis obtenidos por medio del programa Statistica, para un $N= 36$ y un $K=4$, se muestran en la Tabla A.2 (en Anexo). De ellos surge un estadístico de prueba (H) de 1.885 y una p (probabilidad de ocurrencia) igual a 0.59. Estos valores nos permiten manifestar que el nivel freático no depende de las localidades.

3.3.4.- Prueba de la mediana

Es un procedimiento no paramétrico que permite probar si K grupos independientes difieren en sus tendencias centrales. Determina si han sido recogidos de la misma población o de poblaciones con medianas iguales. La hipótesis de nulidad (H_0) supone que provienen de poblaciones con la misma mediana (Siegel, 1991).

Primeramente se determina la mediana común a todos los puntajes (registros) en los K grupos. Después se reemplaza cada puntaje por un signo más (+) cuando es mayor que la mediana y por un menos (-) cuando es menor que la mediana común. Se colocan en una tabla $K \times 2$ (tabla de K columnas por 2 filas) los números de las frecuencias resultantes de los más y menos en cada uno de los K grupos. Para probar H_0 , se calcula χ^2 por medio de:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^k \frac{(O_{ij} - E_{ij})^2}{E_{ij}}$$

Donde:

O_{ij} = número observado de casos clasificados en la fila i de la columna j.

E_{ij} = número de casos esperados conforme a H_0 para ser clasificados en la fila i de la columna j.

Si el valor calculado con la formula antes citada (χ^2) es igual o mayor que el de la tabla de valores críticos de chi cuadrada, en el valor de significancia determinado de antemano y con $K-1$ grados de libertad, se rechaza H_0 en dicho nivel.

En la tabla A.3 (en Anexo), se pueden observar los resultados obtenidos por medio del software Statistica, los cuales muestran que cualquiera sea el nivel de significancia (α) elegido, se puede afirmar que el comportamiento medio es el mismo en las localidades bajo análisis ($\chi^2= 1.226$; $p=0.74$).

4.- DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

En líneas generales y con respecto al período de análisis de cada serie, a través de los distintos hidrogramas, se podría decir que las oscilaciones piezométricas tienen un comportamiento similar, donde se observan tres etapas ascendentes y dos descendentes del nivel freático, relacionadas con precipitaciones por encima y por debajo de la media, respectivamente.

Es esperable que los niveles de agua subterránea varíen de acuerdo a las características hidrológicas de cada año, si bien en ocasiones tales variaciones interanuales son pequeñas dado que los acuíferos tienen un almacenamiento de agua elevado. La sucesión de varios años secos o húmedos puede dar la impresión que los niveles piezométricos tienen una tendencia a subir o bajar (Custodio y Llamas, 1983), la que no se verificaría si se contara con un registro más extenso.

La tasa de recesión obtenida para cada localidad es similar, con un valor aproximado de 0.30 mm/día, a excepción de Intendente Alvear donde es inferior debido al coeficiente de almacenamiento relativamente bajo que se aplicó. Sophocleous y Perry (1985), mencionan que la determinación de la porosidad efectiva es una de las mayores dificultades del método, especialmente en acuíferos someros, donde se utiliza un valor uniforme.

El tratamiento estadístico permitió realizar un análisis integrador de todas las redes de control freático, por medio de las pruebas de Kruskal-Wallis y de la mediana. Esta última es menos eficiente que la primera al simplemente dicotomizar los puntajes por encima y por debajo de la mediana en lugar de convertirlos en rangos como lo hace la prueba de Kruskal-Wallis, utilizando así más información de las observaciones (Siegel, 1991). Sin embargo ambas resultaron ser herramientas muy útiles y permitieron comprobar que el comportamiento medio de los piezómetros utilizados como representantes de cada red, es el mismo.

Si bien es necesario continuar con los estudios a los fines de contar con una serie más prolongada y representativa para poder validar adecuadamente los métodos utilizados, tanto el análisis cualitativo como cuantitativo llevan a concluir que hay una conducta regional en las fluctuaciones del nivel freático, al menos de acuerdo con el comportamiento de los piezómetros analizados.

AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mi más profundo agradecimiento a todos los que de alguna manera contribuyeron en la realización de este trabajo.

Al Dr. Eduardo Mariño, director del trabajo, por su predisposición, paciencia y constante apoyo en la confección de esta tesina.

A la Dra. María C. Martín por su valioso asesoramiento en el análisis estadístico de los datos y estar siempre dispuesta cuando se le requería.

A la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad Nacional de La Pampa por su apoyo.

A la Administración Provincial del Agua de La Pampa por brindarme la información necesaria para el desarrollo de este trabajo y especialmente a: Susana Grasman, Carina Arroyo, Carlos Gandi, Eduardo Castro y José Malán.

BIBLIOGRAFÍA

Arigós, E., 1970. Informe técnico hidrogeológico de la provincia de La Pampa. Comité de Investigación de Aguas Subterráneas, La Plata, 70 p (inédito).

Arroyo, C.C., 2005. Estimación de la recarga en el sector de explotación del acuífero que abastece a la localidad de Quemú-Quemú, provincia de La Pampa. Tesina de Licenciatura en Geología, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales-UNLPam. 51 pp. Santa Rosa (inédito).

Cano, E., Casagrande, G., Conti, H. A., Fernández, B., Hevia, R., Lea Plaza J. C., Maldonado Pinedo, D., Martínez H., Montes M. A., Musto, J. C., Pittaluga, A., Peña Zubiate C. A. y Scoppa, C. O., 1980. Inventario Integrado de los Recursos Naturales de la Provincia de La Pampa. INTA, Gobierno de la Provincia de La Pampa y UNLPam. 493 pp. Bs. As.

Calmels, A. P., 1996. Bosquejo Geomorfológico de la Provincia de La Pampa. UNLPam. 110 pp. Santa Rosa.

Consortio EIH y ENE-I, 1987. Estudio Integral para el Saneamiento Urbano y Suburbano de la ciudad de General Pico. Administración Provincial del Agua, Tomo 1, Santa Rosa. (Inédito)

Consultora A.H. Risiga y Asociados, 1988. Estudio para ajustar el conocimiento hidrogeológico del acuífero Pico-Dorila y el funcionamiento hidráulico de la batería de pozos que abastecerán al servicio de agua potable de la ciudad de General Pico. Informe Final. Ministerio de Obras y Servicios Públicos, Tomos 1 a 9, Santa Rosa. (Inédito)

Consultores del Plata-Ingemar SRL, 1973. Investigación de agua subterránea de General Pico. 30 pp., Santa Rosa. (Inédito)

Castro, E. y J.O. Tullio, 1991. Estudio de fuentes de Intendente Alvear- ampliación y replanteo- departamento Chapaleufú, provincia de La Pampa. Dirección de Hidrología, 22 p., Santa Rosa (inédito).

Castro, E., Tullio, J., 1993. Algunas características hidrogeológicas del abastecimiento de agua a la localidad de Intendente Alvear. V Jornadas Pampeanas Ciencias Naturales. Actas II: 19-25. Santa Rosa.

Castro, E. C., Tullio, J. O. y Schulz, C. J, 1996. Vulnerabilidad del acuífero de Intendente Alvear (La Pampa), riesgo de contaminación por actividades agropecuarias. III Congreso Latinoamericano de Hidrogeología. México.

Custodio, E. y Llamas, M. R., 1983. Hidrología Subterránea. Ediciones Omega, SA. 2º edición. 2350 pp. Barcelona.

Devore, Jay L. 2003. Probabilidad y Estadística para Ingeniería y Ciencias. Editorial Thomson Learning. 5º Edición

Gerhart, J., 1986. Ground-water recharge and this effects on nitrate concentrations beneath a manured field site in Pennsylvania. *Ground Water* 24:483-489.

Giai, S. B., 1975. Plan de Investigación de aguas subterráneas (PAIS). Ministerio de Obras Públicas, Dirección de Aguas Subterráneas, informe inédito. 40 p. Santa Rosa, La Pampa.

Giai, S. B., 1987. Morfología de la superficie freática de la provincia de La Pampa. III Jornadas Pampeanas de Ciencias Naturales, Serie suplemento 3: 73-82, Santa Rosa (LP).

Giai, S. B., 1997. Rasgos hidrológicos de El Meauco, provincia de La Pampa, con especial referencia a su freaticimetría. Actas I Congreso Nacional de Hidrogeología, Bahía Blanca, 105-115.

Giai, S., De Ormaechea J, 1972. Estudio de Fuentes de Intendente Alvear. Informe Interno. Santa Rosa. La Pampa.

Giai, S. B. y Gatto Cáceres, R. O., 1996. Ajuste de un modelo para registros freaticimétricos mensuales en General Pico-La Pampa. IV Jornadas Geológicas y Geofísicas Bonaerenses, Acta 2: 221-227, La Plata.

Giai, S. B. y J. O. Tullio, 1998. Características de los principales acuíferos de la provincia de La Pampa. Asociación de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente, Revista, 12:51-68.

Goin, F., Montalvo, I. C. y Visconti, G., 2000. Los marsupiales (Mammalia) del Mioceno superior de la Formación Cerro Azul (provincia de La Pampa, Argentina). *Estudios Geológicos*, No. 56(1-2), p 101-126.

Healy, R. W. y Cook, P. G., 2002. Using groundwater levels to estimate recharge. *Hydrogeology Journal* 10:91-109.

Irigoyen, M., 1975. Geología del subsuelo y plataforma continental. VI Congreso Geológico Argentino, Relatorio: 139-168, Buenos Aires.

Johansson, P. O., 1986. Diurnal groundwater level fluctuations in sandy till- a model analyses. *Journal of Hydrology*, 87:125-134

Johansson, P. O., 1987. Estimation of groundwater recharge in sandy till with two different methods using groundwater level fluctuations. *Journal of Hydrology*, 90: 183-198.

Larrechea, C., 1966. Informe del relevamiento hidrogeológico de la hoja General Pico. Dirección de Hidrogeología y Perforaciones, 8 pp., Santa Rosa. (Inédito)

Larrechea, C., 1969. Informe sobre el aforo de los pozos de exploración en General Pico. Departamento de Aguas Subterráneas, 5 pp., Santa Rosa. (Inédito)

Laurencena, P., Varela, L. y Kruse, E., 1999. Variación de la recarga subterránea. Cuenca Arroyo El Pescado (provincia de Buenos Aires). VII Jornadas Pampeanas de Ciencias Naturales, Actas: 183-192, Santa Rosa.

Laurencena, P., Varela, L., Kruse, E., Rojo, A. y Deluchi, M. 2002. Características de las variaciones freáticas en un área del noroeste de la Provincia de Buenos Aires. En: Groundwater and Human Development, Bocanegra, E., Martinez, D., Massone, H. (Eds).

Linares, E., Llambías, E. J. y Latorre, C. O., 1980. Geología de la provincia de La Pampa, República Argentina y geocronología de sus rocas metamórficas y eruptivas. Asociación Geológica Argentina, Revista XXXV: 87-146.

Malán, J. M., 1980. Resumen sobre los principales aspectos geohidrológicos en el área Pico-Dorila y sus adyacencias, con determinación de las posibilidades de explotación de sus acuíferos para el abastecimiento de agua potable a la ciudad de General Pico. Administración Provincial del Agua, Santa Rosa (Inédito).

Malán, J. M., 1983. Estudio hidrogeológico para el abastecimiento de agua potable a la localidad de General Pico, departamento Maracó, provincia de La Pampa. Informe Preliminar. Coloquio de Hidrología de Grandes Llanuras, Actas III:1449-1457, Olavarría.

Malán, J., Miglianelli C, 1981. Perforaciones para ampliación y mejoramiento del servicio de agua a Intendente Alvear. Informe Interno. APA. Santa Rosa. La Pampa.

Malán, J. M. y Schulz, C. J., 1988. Estudio hidrogeológico para la provisión de agua potable a Quemú-Quemú, La Pampa. Segundas Jornadas Geológicas Bonaerenses, Actas: 567-578, Bahía Blanca.

Malán, J. M., Mariño, E. y Casagrande, G., 1993. Aplicación de distintos métodos para la estimación de la infiltración eficaz en áreas medanosas. V Jornadas Pampeanas de Ciencias Naturales, Actas II:51-54, Santa Rosa.

Mariño, E. E., 2003. Sistema hidrogeoquímico de un acuífero libre en ambiente medanoso en el área General Pico-Dorila, provincia de La Pampa. Tesis Doctoral en Ciencias Geológicas. Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Universidad Nacional de Córdoba. 142 p.

Mariño, E. E. y Bonorino, A. G., 1996. Estimación de la recarga en un acuífero en ambiente medanoso a partir de mediciones periódicas del nivel freático. XIII Congreso Geológico Argentino y III Congreso de Exploración de Hidrocarburos. Actas IV: 405-408. Buenos Aires.

Mariño, E. E. y Dalmaso, M. G., 2003. Análisis de la información básica para la gestión del acuífero que abastece a General Pico, La Pampa, Argentina. Memorias del III Congreso Argentino de Hidrogeología y I Seminario Hispano – Latinoamericano sobre temas actuales en hidrológica subterránea, Tomo 1: 209-218, Rosario.

Miglianelli, C.H., 1981. Estudio de fuentes de Speluzzi. Administración Provincial del Agua, 8 p., Santa Rosa (Inédito).

Miglianelli, C.H., 1984. Resumen del estudio especial del acuífero de Speluzzi. Revista Pampa Geológica, I:3, p 15-27. Santa Rosa, La Pampa.

Olin, M. H. E. y Svensson, C., 1992. Evaluation of geologic and recharge parameters for an aquifer in southern Sweden. *Nordic Hydrology*, 23:305-314.

Olin, M. H. E., 1995. Estimation of base level for an aquifer from recession rates of groundwater levels. *Hydrogeology journal*, 3(2): 40-51.

Orlandini, L., 1951. Estudio hidrogeológico en General Pico, provincia de La Pampa. *Obras Sanitarias de la Nación*, 4 pp., Buenos Aires. (Inédito)

Rasmussen, W. y Andreasen, G., 1959. Hydrologic budget of the Beaverdam creek basin, Maryland. *US Geol Survey Water- Supply Paper 1472*, 106 pp.

Roberto, Z. E., Casagrande G. y Viglizzo E. F., 1994. Lluvias en la Pampa Central. *Tendencia y Variaciones del Siglo. Publicación N° 2. INTA, Centro Regional La Pampa-San Luis*. 25 pp.

Salso, J., 1966. La cuenca de Macachín, provincia de La Pampa. *Asociación Geológica Argentina, Revista, XXI(2): 107:117*. Buenos Aires.

Schulz, C. J., 1997. Plan de optimización del servicio de agua potable. 1 parte: Evaluación de Recurso. Informe interno COSYPRO. *Quemú Quemú* (Inédito).

Schulz C. J. y Castro E. C., 2005. Estimación de la infiltración eficaz en el sector medanoso del noreste de La Pampa, mediante distintos métodos. *IV Congreso Argentino de Hidrogeología, Tomo II: 105-112, Río Cuarto*.

Siegel, Sidney, 1991. Estadística no paramétrica, aplicada a las ciencias de la conducta. Editorial Trillas. 3° edición. (1° reimpresión). 344 pp. México.

Sisul, A., 1976. Relevamiento Hidrogeológico de la zona de General Pico. Consejo Provincial del Agua, 3 pp., Santa Rosa. (Inédito)

Sophocleous, M. y Perry, C., 1985. Experimental studies in natural groundwater recharge dynamics: the analysis of observed recharge events. *J. Hydrol 81:297-332*.

Stappenbeck, R., 1926. Geologies and grundwasserkunde der Pampa. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, 512 p, Stuttgart.

Tapia, A., 1962. Recomendaciones sobre la investigación hidrológica en La Pampa y algunos resultados obtenidos en investigaciones efectuadas en el norte de la misma. Ministerio de Economía y Obras Públicas. Informe inédito, 10 p, Santa Rosa.

Thorntwaite, C. W. y Mather, J. R., 1955. The water balance. *Drexel Institute of Technology. Publications in Climatology, VIII(1):104 p, New Jersey*.

Tullio J. O., 1998. Recursos Hídricos Subterráneos, en "El Agua en La Pampa". Fondo Editorial Pampeano. 236 pp. Santa Rosa.

Urbisaia, H. L. y Brufman J. Z., 2001. Análisis de Series de Tiempo. Univariadas y Multivariadas. Ediciones Cooperativas. 2º edición. 288 pp. Buenos Aires.

Varni, M., 2002. Determinación de la recarga mediante el método de fluctuación del nivel freático: Aplicación a la Pampa deprimida, Argentina. En: Groundwater and Human development, Bocanegra, E., Martínez, D., Massone, H. (Eds).

Varni, M. 2005. Evaluación de la recarga al acuífero del azul: valores medios y variaciones temporal y espacial. Tesis Doctoral en Ciencias Geológicas, 185 p, Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura, Universidad Nacional de Rosario.

Venencio, M. y Varni, M., 2003. Estimación de la recarga y del almacenamiento específico a través del análisis de registros de nivel freático. En Basile, P., Mancinelli, A., Pouey, Riccardi, G y Zimmerman, E. (Eds): Memorias del III Congreso Argentino de Hidrogeología y I Seminario Hispano Latinoamericano sobre temas actuales de la Hidrología Subterránea, Tomo 1, p 153-160.

Venetis, C., 1971. Estimating infiltration and/or the parameters of unconfined aquifers from groundwater level observations. Journal of Hydrology, 12(2): 161-169.

ANEXO

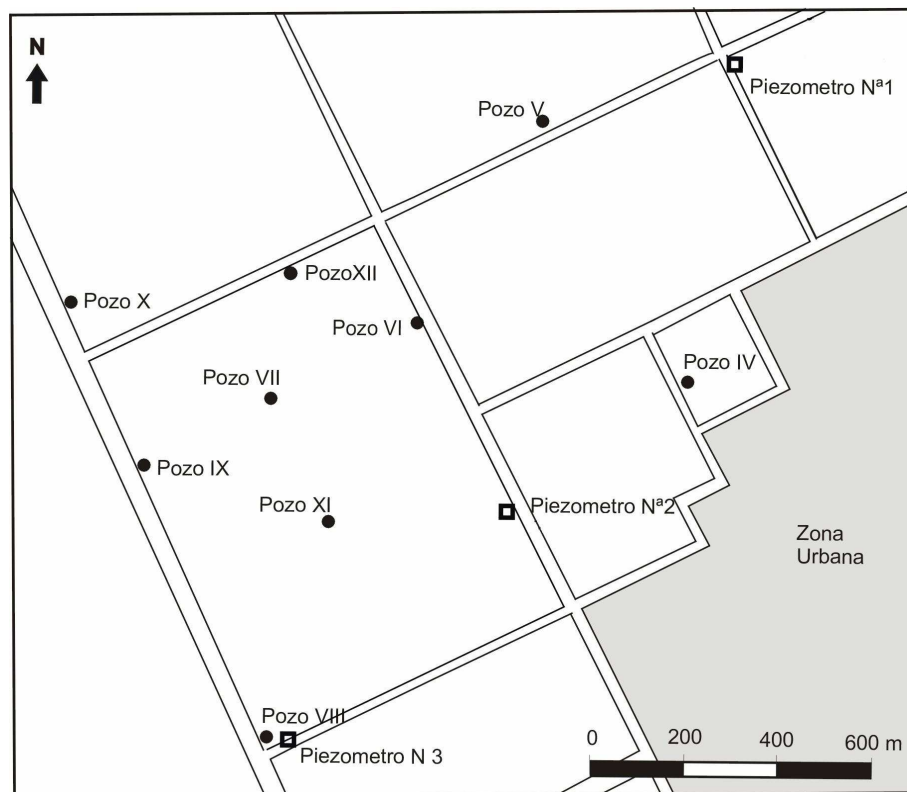


Figura. A.1 – Mapa de Quemú Quemú con la ubicación de los piezómetros y pozos (tomado de Arroyo, 2005)

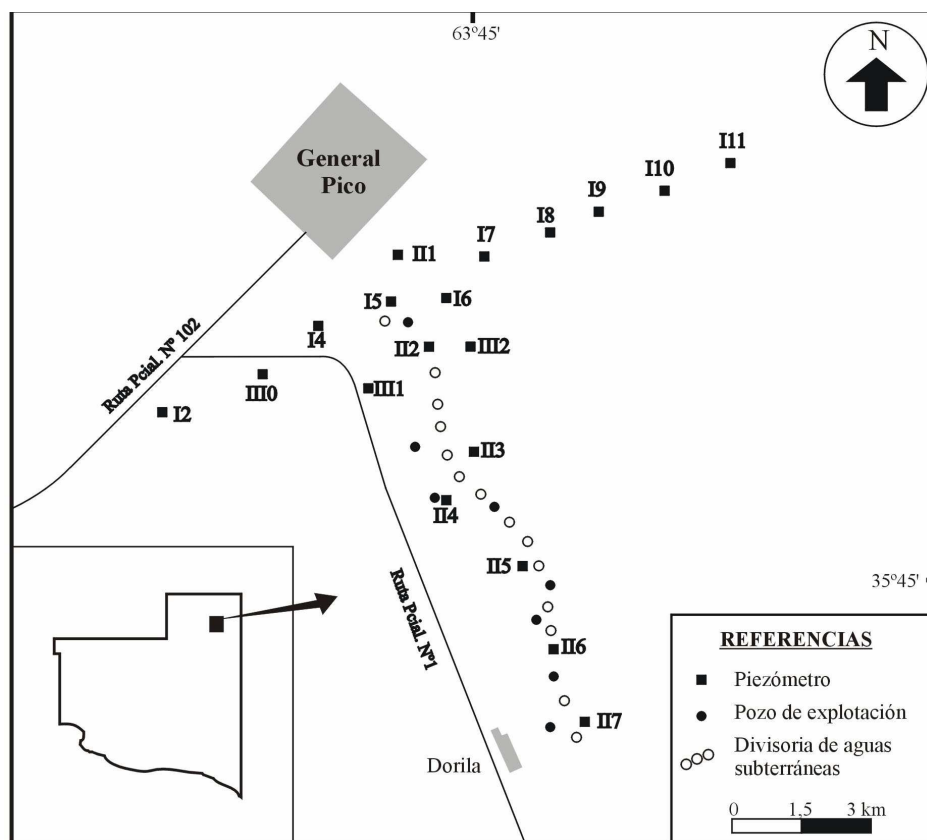


Figura A.2. – Mapa de Gral. Pico con la ubicación de los piezómetros y determinados pozos (tomado de Mariño y Bonorino, 1996)

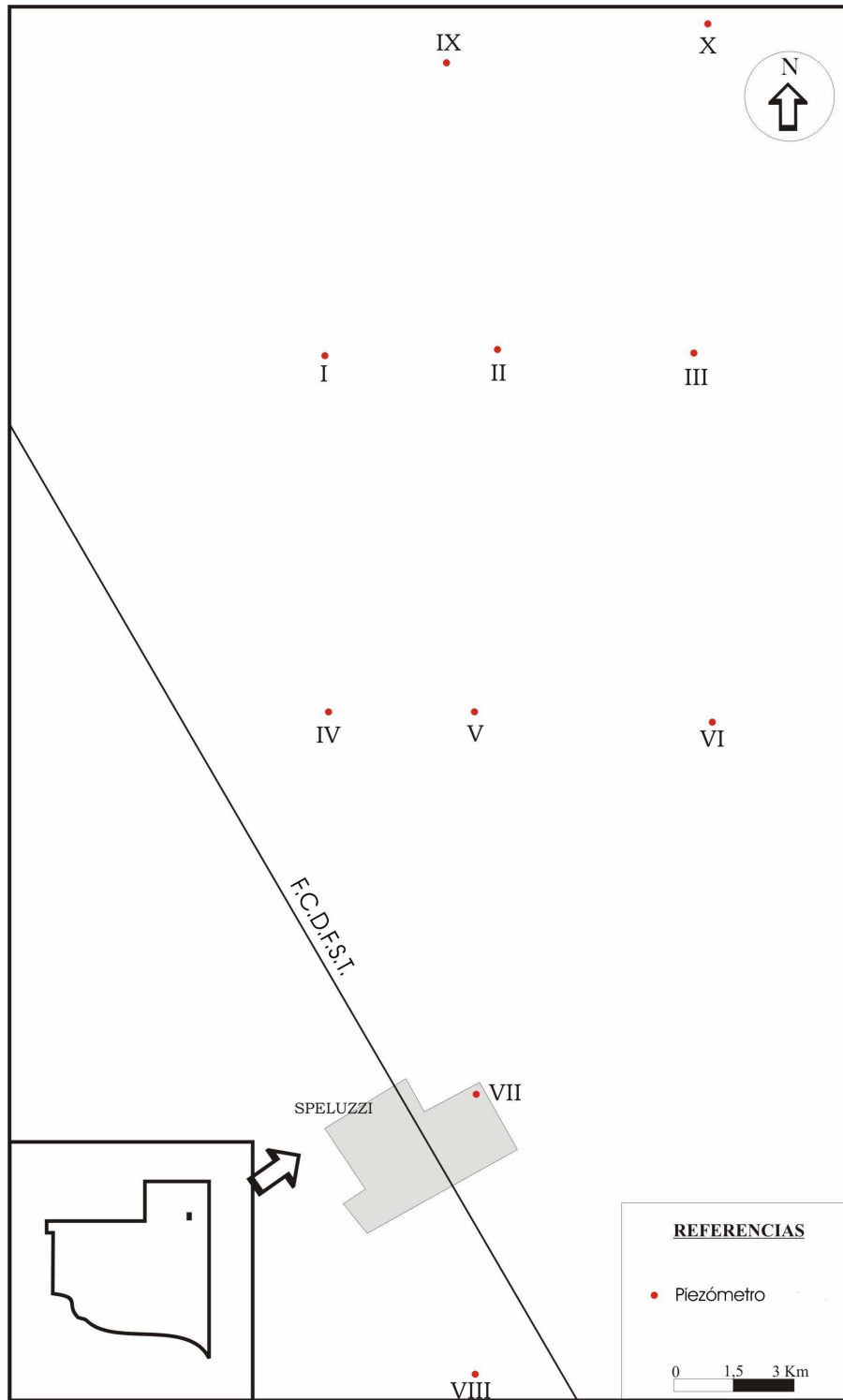


Figura. A.3 – Mapa de Speluzzi con la ubicación de los piezómetros

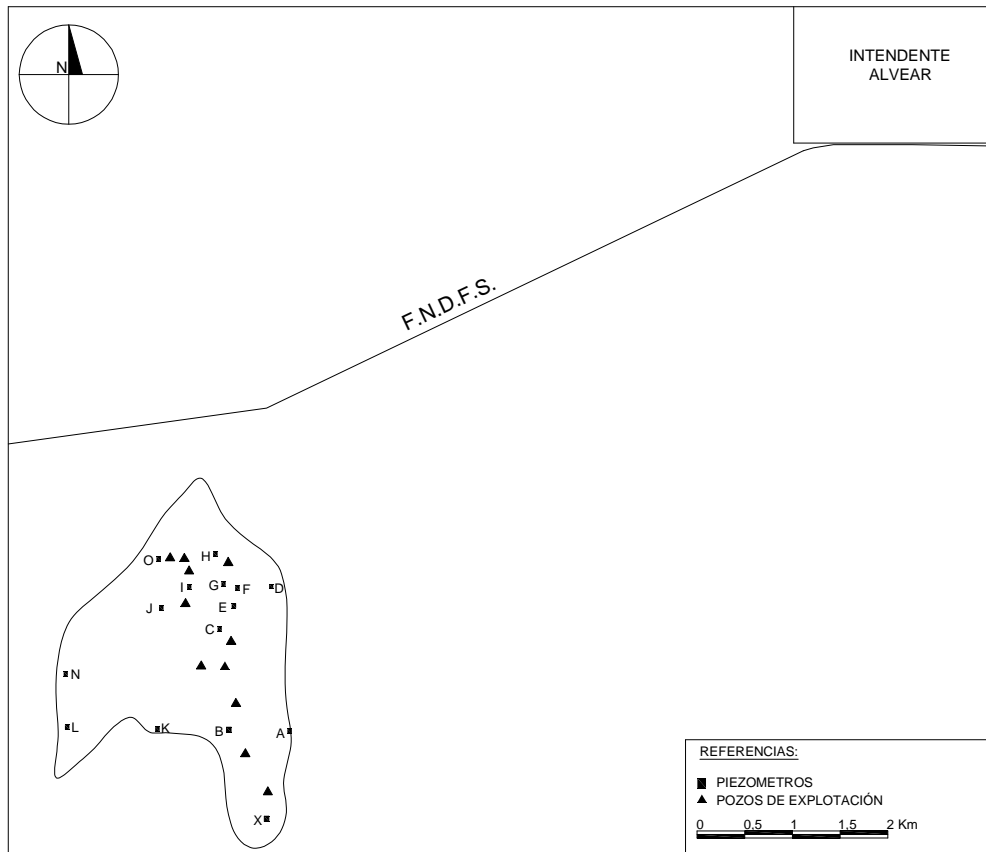


Figura A.4. – Mapa de Intendente Alvear con la ubicación de los piezómetros y ciertos pozos de explotación

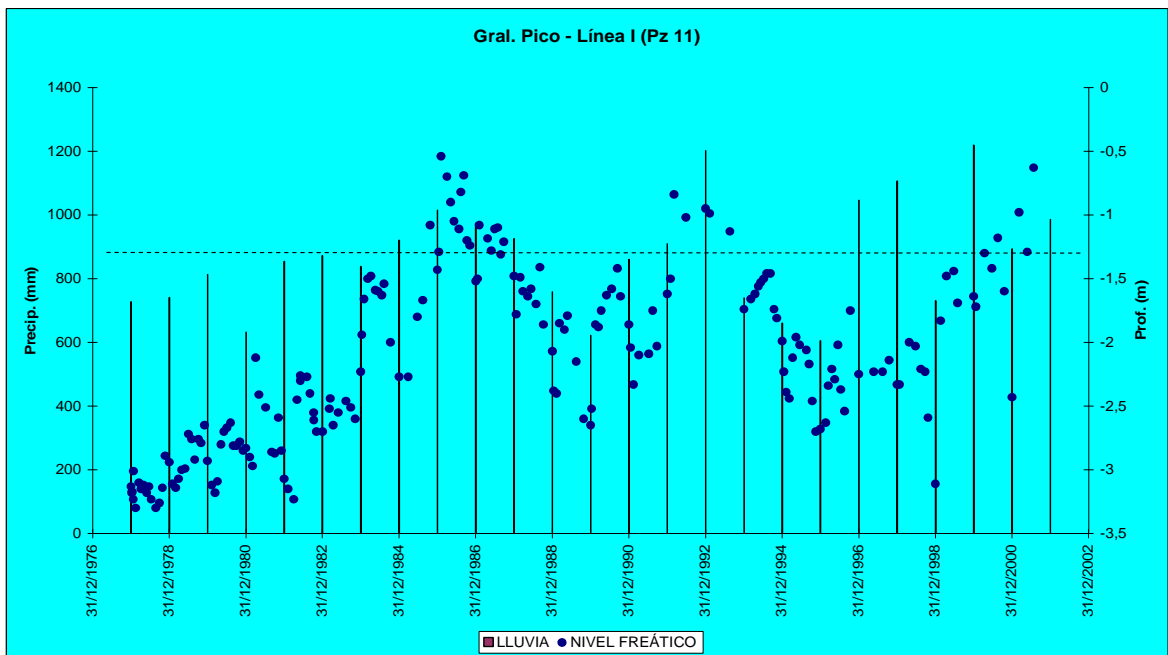


Figura A.5.- Variación del nivel freático en el piezómetro 11 de la línea I de la red de control de General Pico (Periodo 1977-2001) y su relación con las precipitaciones.

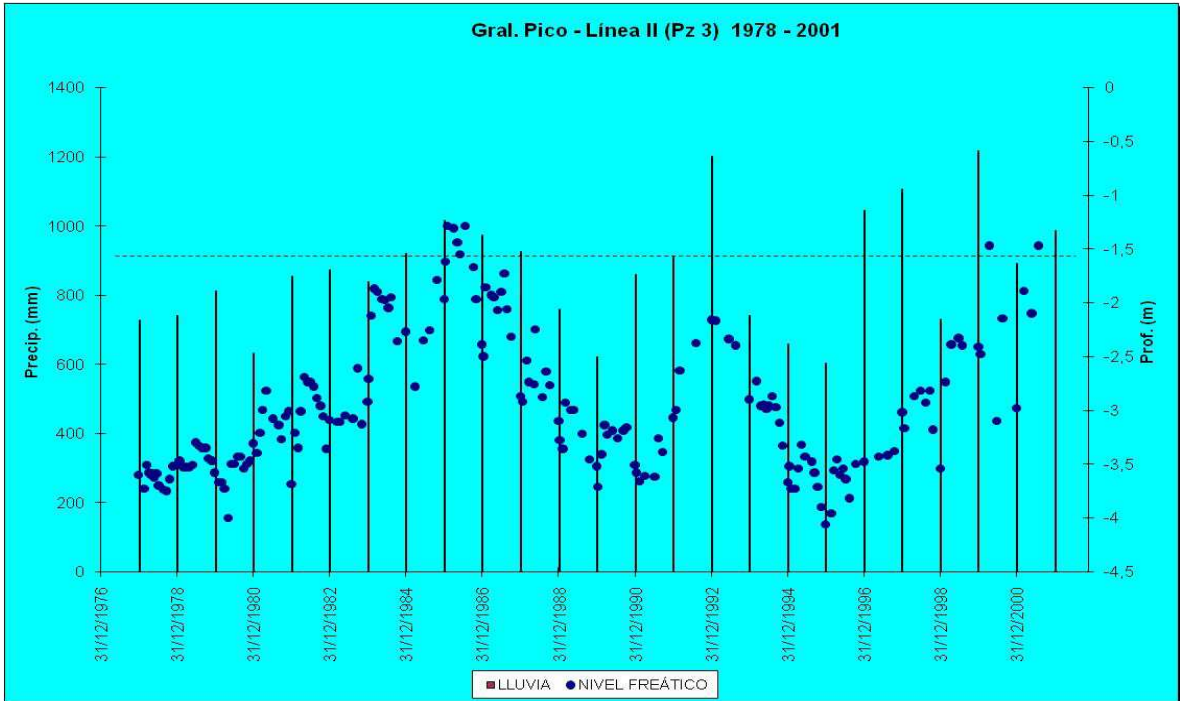


Figura A.6.- Variación del nivel freático en el piezómetro 3 de la línea II de la red de control de General Pico (Periodo 1978-2001) y su relación con las precipitaciones.

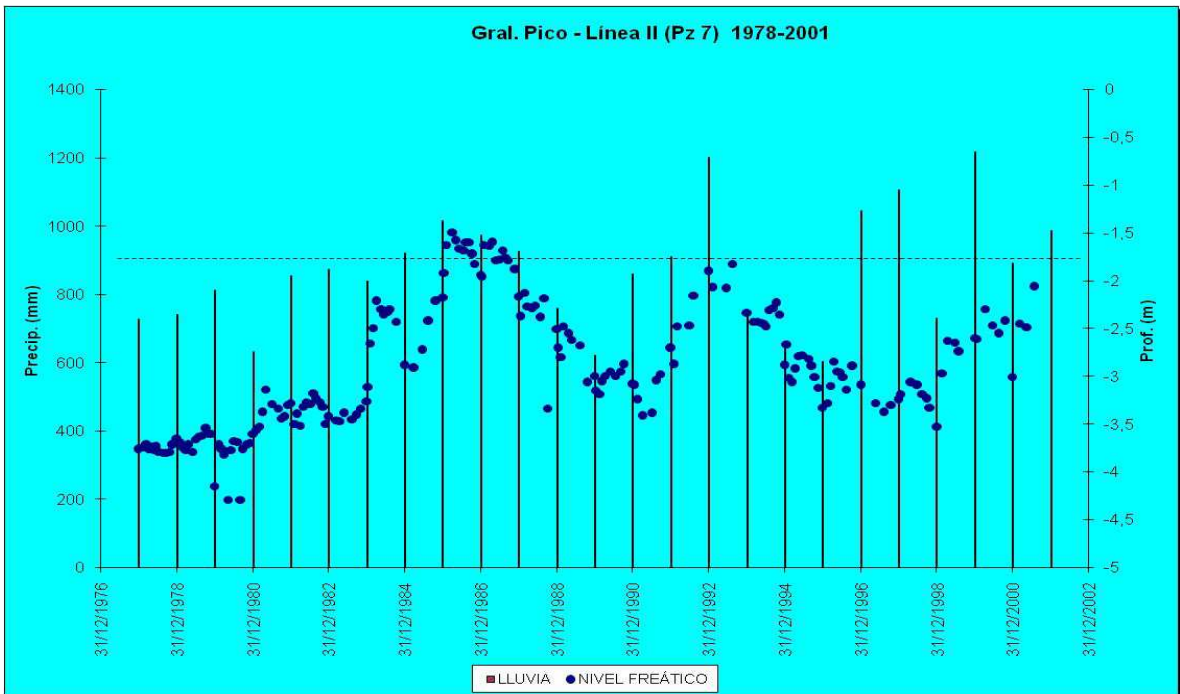


Figura A.7.- Variación del nivel freático en el piezómetro 7 de la línea II de la red de control de General Pico (Periodo 1978-2001) y su relación con las precipitaciones.

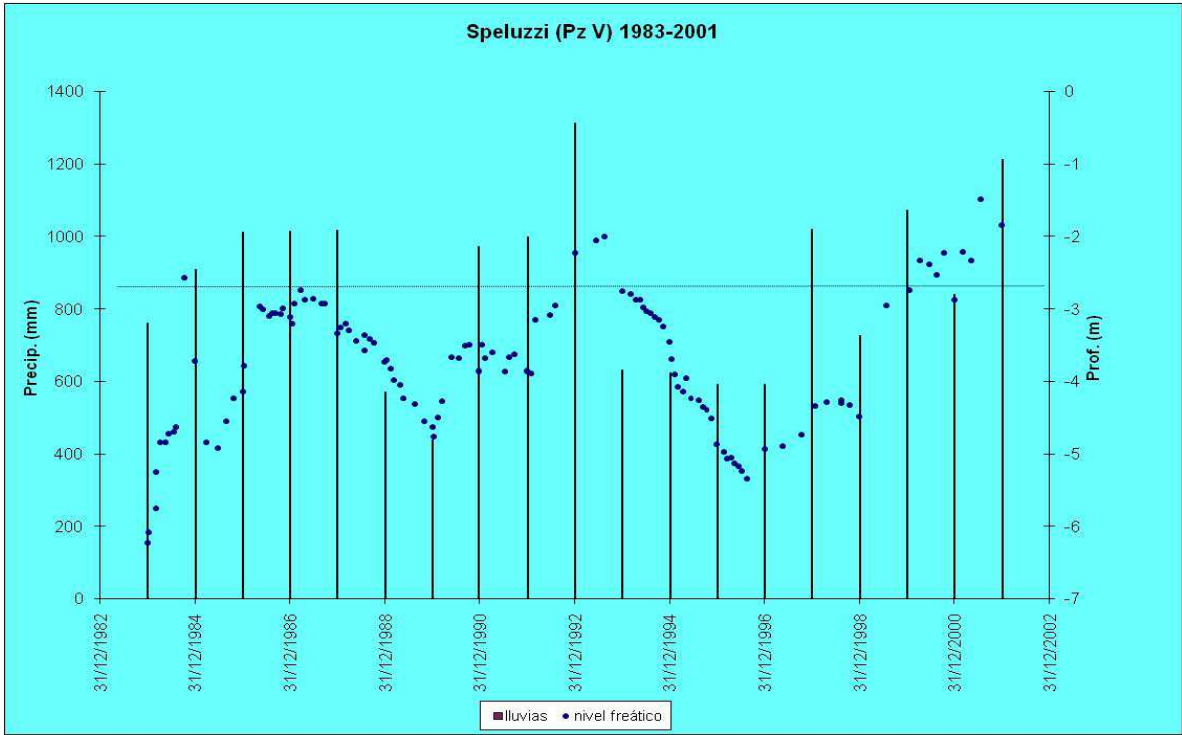


Figura A.8.- Variación del nivel freático en el piezómetro V de la red de control de Speluzzi (Periodo 1983-2001) y su relación con las precipitaciones.

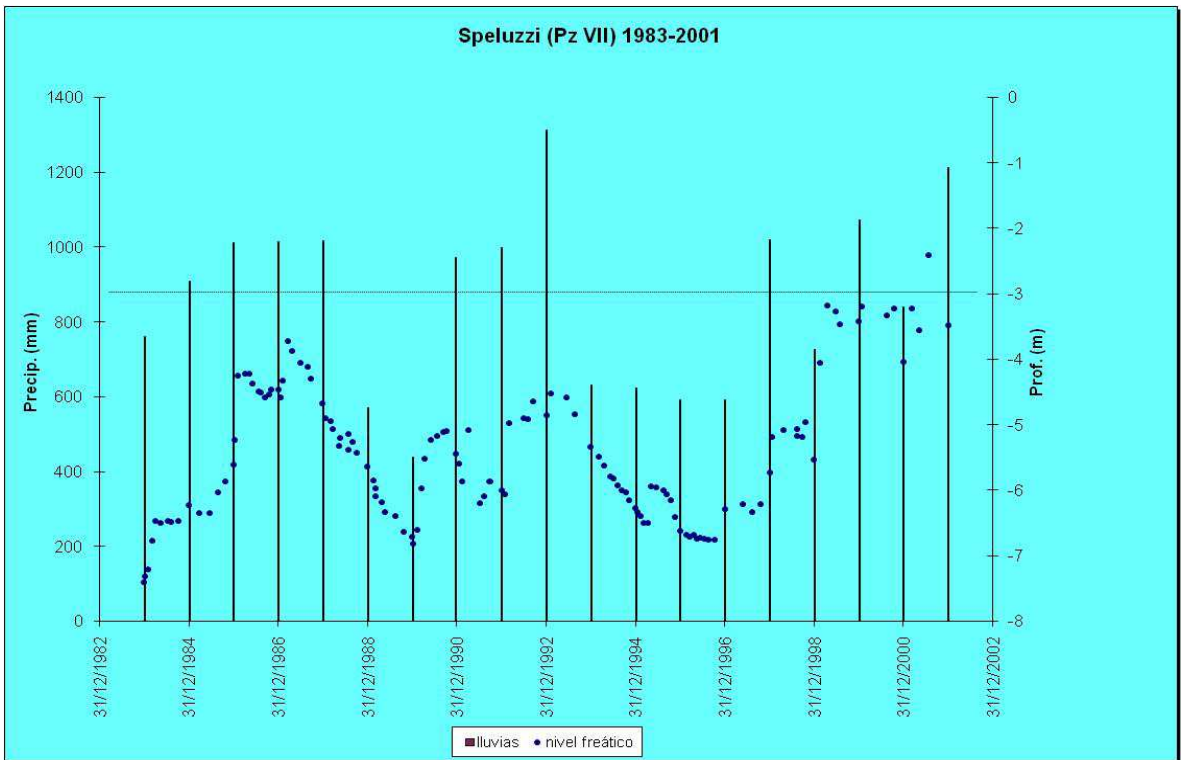


Figura A.9.- Variación del nivel freático en el piezómetro VII de la red de control de Speluzzi (Periodo 1983-2001) y su relación con las precipitaciones.

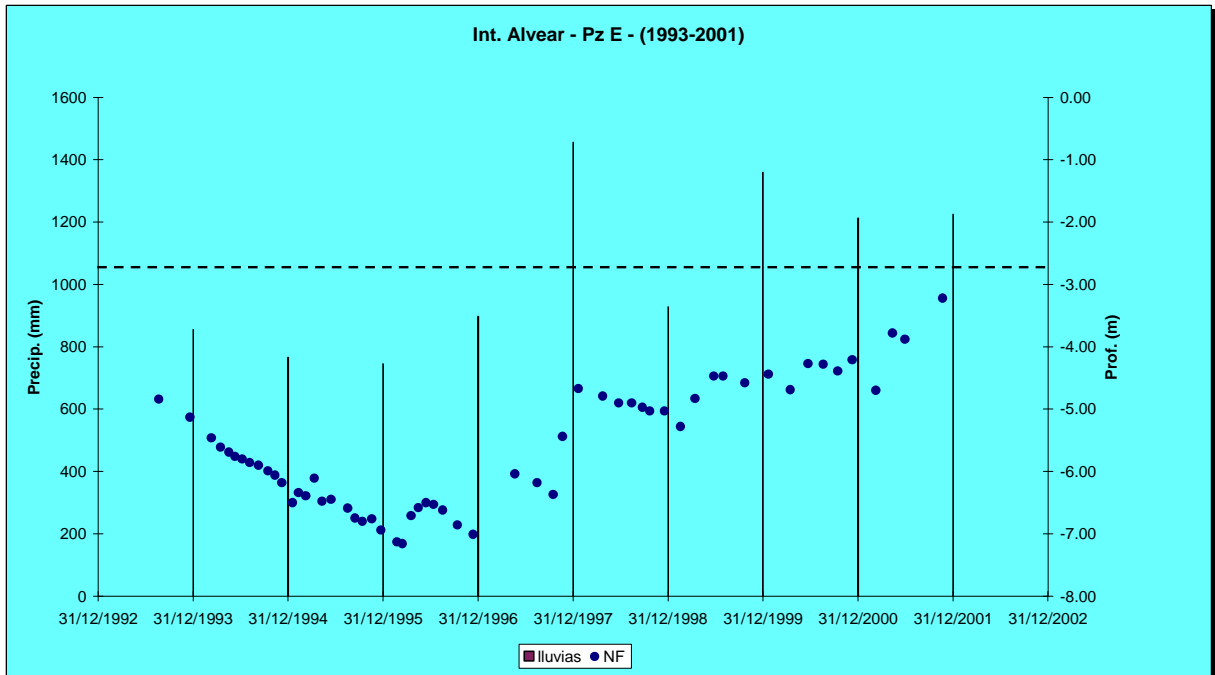


Figura A.10.- Variación del nivel freático en el freaímetro E de la red de control de Intendente Alvear (Periodo 1993-2001) y su relación con las precipitaciones.

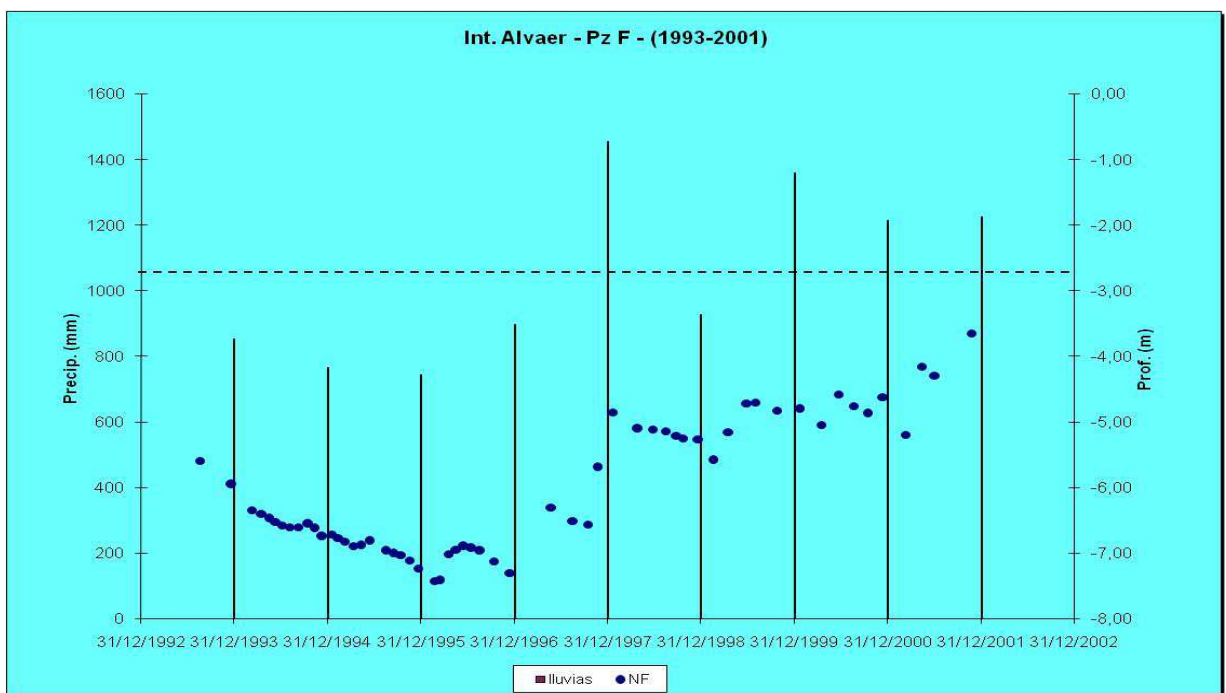


Figura A.11.- Variación del nivel freático en el freaímetro F de la red de control de Intendente Alvear (Periodo 1993-2001) y su relación con las precipitaciones.

Tabla A.1 – Salida del programa Statistica del test de Levene

	CM Entre	CM Dentro	F	P
NIVEL FREÁTICO	0,501	0,107	4,681	0,008

Levene's Test for Homogeneity of Variances (1993-2001), Effect: "Localidad",
degrees of freedom for all F's: 3.32

Tabla A.2 – Salida del software Statistica de la prueba de Kruskal-Wallis

LOCALIDAD	nj	SUMA de Rj
QUEMÚ QUEMÚ	9	189,5
GENERAL PICO	9	175,5
SPELUZZI	9	131,0
INT. ALVEAR	9	170,0

Kruskal-Wallis ANOVA by Rank; (1993-2001)
Kruskal-Wallis test: H (3, N= 36) =1.885355 p =0.5965

Tabla A.3 – Salida del programa Statistica de la prueba de la mediana

	QUEMÚ QUEMÚ	GENERAL PICO	SPELUZZI	INT. ALVEAR	TOTAL
<= MEDIANA OBSERVADA	4,000	5,000	6,000	4,000	19,000
EXPERADA	4,750	4,750	4,750	4,750	
OBSERV-EXPERADA	-0,750	0,250	1,250	-0,750	
> MEDIANA OBSERVADA	5,000	4,000	3,000	5,000	17,000
EXPERADA	4,250	4,250	4,250	4,250	
OBSERV-EXPERADA	0,750	-0,250	-1,250	0,750	
TOTAL OBSERVADO	9,000	9,000	9,000	9,000	36,000

Median Test, Overall Median = 2.98000; Nivel Freático (serie 1993-2001), Indep. (grouping) variable:
Localidad, Chi-Square(χ^2) = 1.226006, df = 3, p =0.7468