

CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS DE UN PIEZÓMETRO JUNTO A UNA PARCELA
EXPERIMENTAL PARA LA INVESTIGACIÓN DE LA ZONA NO SATURADA EN ARKAUTE
(ARABA, PAÍS VASCO)

C. LUENGO, J.M. GONZALO y I. ANTIGÜEDAD

Grupo de Hidrogeología. Área de Geodinámica.
Universidad del País Vasco - Euskal Herriko Unibertsitatea

RESUMEN

Junto a las parcelas experimentales para la investigación de la zona no saturada debe existir un punto de control del nivel freático y de las aguas subterráneas, máxime si parte de la franja de suelo objeto de interés puede quedar temporalmente saturada por ascenso del nivel freático.

En este artículo se describen los problemas encontrados durante la perforación manual de un sondeo para la instalación de un piezómetro, las soluciones probadas y su resultado, se justifican las características constructivas del piezómetro y el sistema elegido de medida de nivel.

ABSTRACT

Next to test sites for the vadose zone investigation must exist a control point for water level and groundwater, especially if a part of investigate soil can remain temporarily saturated by the rise of the water level.

In this article the problems found during the realization of a hand drilling for the installation of a piezometer, the tested solutions and their results are

described, the constructive characteristics of the piezometer and the chosen system of level measurement are justified.

INTRODUCCIÓN

Las parcelas experimentales para la investigación de la zona no saturada son implantadas con dos objetivos principales:

a) Estudio de las variaciones de la humedad (contenido en agua) en la zona no saturada.

b) Estudio de los cambios fisico-químicos que se producen en la zona no saturada (suelo + agua). Puesto que estos cambios están directamente relacionados con el contenido en agua en el suelo, este objetivo no puede llevarse a cabo sin estudiar simultáneamente las variaciones de humedad (objetivo a).

En ambos casos es necesario disponer de un piezómetro que permita controlar las fluctuaciones del nivel piezométrico y tomar muestras del agua subterránea.

La medida en continuo de la posición del nivel freático permite establecer la parte de la franja de suelo bajo control que se encuentra no saturada y la que está saturada, y determinar las variaciones en el espesor de la zona no saturada que condicionan la succión existente en el suelo. En resumen, permite establecer las condiciones de borde en el límite inferior del sistema estudiado.

Las características fisico-químicas del agua subterránea son el resultado final de diversos procesos: aquellos que ocurren en la zona no saturada y los que se producen en la propia zona saturada aguas arriba del punto de muestreo. El control fisico-químico en la parcela tanto del agua subterránea como del agua de la zona no saturada resulta imprescindible para conocer la importancia relativa de esos procesos.

La importancia de determinar con precisión la franja de suelo que se encuentra no saturada radica en que los procesos físicos y, por tanto, las metodologías de cálculo a aplicar son diferentes a las correspondientes a un medio saturado.

En 1994 (Gonzalo et al, 1998) se decidió instalar una parcela para la investigación de la zona no saturada dentro del vallado de la estación meteorológica automática (EMA) G001 que el Servicio Vasco de Meteorología / Meteorologi Euskal Zerbitzua (SVM/MEZ) del Gobierno Vasco tiene en la Granja de Arkaute (Araba) (figura 1). El objeto de esta parcela es la estimación de la infiltración y la evaporación a partir de la realización de balances hídricos y de masas.

Esta granja está situada en el Sector Oriental del Acuífero Cuaternario de Vitoria-Gasteiz en una zona donde el espesor del relleno cuaternario oscila entre 1 y 10 m y el nivel freático oscila entre la superficie (inundación) y 3 m de profundidad.

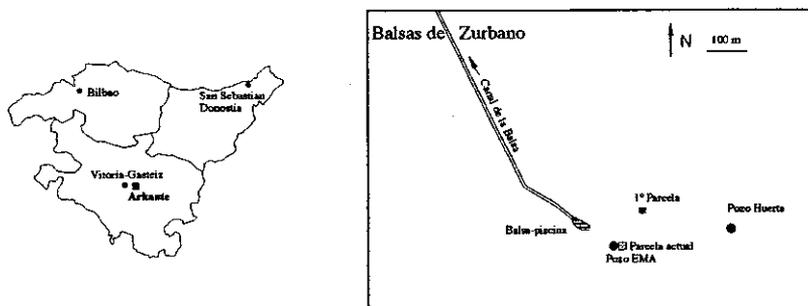


Fig. 1. Situación geográfica de la parcela experimental de Arkaute. Localización de los pozos.

Con anterioridad (Sánchez-Pérez et al., 1995), se había instalado dentro de la misma granja una primera parcela (figura 1) para investigar el comportamiento de los nitratos en la zona no saturada, considerándose para la interpretación de los resultados los niveles freáticos medidos en el denominado "Pozo Huerta" situado a unos 170 m al Este de esta parcela y a cota superior (170 cm) y cuyas aguas se bombean para riegos y limpieza durante prácticamente todo el año (figura 2).

Estudios previos en el Pozo Huerta (Arrate, 1994 y Arrate et al. 1995) indicaban que el nivel freático en esta zona fluctúa desde 130 cm de profundidad en aguas bajas hasta casi la superficie en aguas altas. Con estas fluctuaciones del nivel freático, parte del espesor de suelo controlado en ambas parcelas puede quedar momentáneamente bajo el nivel freático (en la zona saturada) y para interpretar correctamente los datos obtenidos (quimismo de las aguas, por caso) es necesario discriminar aquellos datos que corresponden a la zona no saturada de los tomados bajo el nivel freático.

Puesto que una de las zonas de descarga eventuales de esta parte del acuífero, la denominada Balsas de Zurbano, se encuentra a 1 km al NW del Pozo Huerta (figura 1), siendo la topografía prácticamente plana con una débil pendiente (0.5 %) descendente hacia el NW, es de prever que la superficie piezométrica se vaya acercando a la superficie topográfica al avanzar en sentido SE Æ NW. Por lo tanto, en este área las medidas piezométricas puntuales no pueden extrapolarse directamente.

Las medidas piezométricas realizadas en el Pozo Huerta indican que la respuesta del acuífero a las precipitaciones es prácticamente inmediata (figura 2).

Además la presencia de zanjas de drenaje y pozos y balsas desde los que se hacen bombeos periódicos da lugar a la existencia de depresiones locales del nivel freático variables tanto en el tiempo como en el espacio.

Todas estas circunstancias obligan a que, en este área, al instalar una parcela experimental para investigar la zona no saturada deba construirse un piezómetro en la misma parcela y a dotarle de un sistema de medida en continuo del nivel freático.

Así, en la parcela experimental actual para investigar la zona no saturada se ha construido un piezómetro que se ha denominado Pozo EMA (Estación Meteorológica Automática) (figura 1).

PROBLEMAS EN LA PERFORACIÓN DEL POZO POR MÉTODOS MANUALES

Previamente a la instalación de la parcela se realizaron varias perforaciones manuales de pequeño diámetro (21 mm) con una barrena Eijkelkamp para determinar la homogeneidad del perfil del suelo a escala de la parcela y para asegurar que éste presenta una profundidad suficiente (> 1 m) para la instalación de los aparatos para el control de la zona no saturada. Estas perforaciones fueron utilizadas posteriormente para la instalación de diversos aparatos.

De este modo se determinó que el perfil estratigráfico está formado de arriba a abajo por:

- De 0 a -37 cm. Arcillas y limos oscuros masivos. Probablemente esmectitas (Arrate et al., 1995).
- De -37 a -55 cm. Arenas amarillas de grano medio-fino con pequeños cantos de hasta 2 cm de diámetro.
- Entre -55 y -75 cm se observa como el porcentaje de gravas y su tamaño va aumentando gradualmente con la profundidad.
- A partir de -75 cm, comienza una capa de gravas en matriz limo-arenosa cuyo límite inferior no se ha podido determinar. Normalmente, las gravas se encuentran recubiertas por una serie de películas de precipitación de CaCO_3 bajo la forma estructural de calcita. En general, estas precipitaciones calcáreas están más desarrolladas en la cara superior de los cantos.
- Sustrato rocoso: Limolitas calcáreas grises oscuras, margas arcillosas y niveles de calcarenitas. Campaniense inferior - medio (Cretácico). No se alcanza en ninguna de las perforaciones realizadas pero hay una serie de afloramientos en las colinas de los alrededores.

Los materiales detríticos perforados son cuaternarios y se han formado en un ambiente fluvial de río meandriforme, donde los materiales superiores, más finos, corresponden a una facies de llanura de inundación, mientras que los inferiores, más gruesos, corresponden a una facies de canal que conectan lateralmente con los depósitos aluviales existentes en la ladera sur de la cuenca (Latasa, 1993).

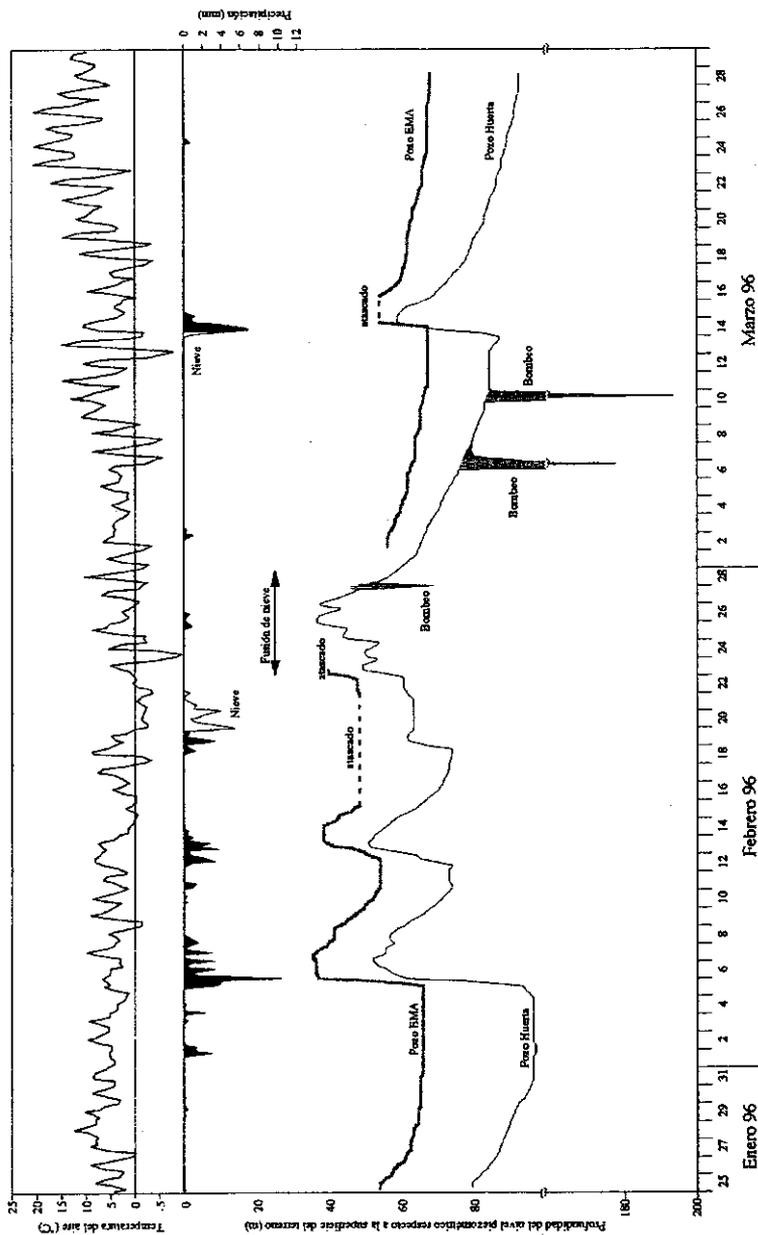


Fig. 2. Variaciones del nivel freático en el Pozo EMA y en el Pozo Huerta como consecuencia de las lluvias, fusión de nieve y bombeos. Se representa un dato cada 4 horas.

Se decidió hacer la perforación del pozo manualmente por una serie de razones:

- Las variaciones de nivel freático registradas en el Pozo Huerta indicaban que un pozo de unos dos metros de profundidad es suficiente para poder medir en todo momento el nivel freático y esa profundidad se puede alcanzar fácilmente por métodos manuales.
- La columna litológica indica que los materiales son fácilmente perforables por métodos manuales.
- Existencia en el mercado de tubos filtrantes que incorporan el empaque de gravas de fábrica cuyo diámetro exterior coincide con el diámetro del útil de perforación más grande que se puede usar en las barrenas manuales y cuyo diámetro interior permite introducir una sonda de nivel.
- Los métodos manuales son mucho más baratos al no ser necesario contratar una máquina de sondeos. En este caso, además, la utilización de la una máquina de sondeos habría obligado a desmontar el vallado perimetral de la EMA para introducirla en la parcela experimental.
- Las labores de instalación / desinstalación de la máquina de sondeos y su funcionamiento altera la estructura de la capa superficial del suelo en una amplia zona, lo que obliga a disponer de una superficie de terreno mayor y situar el sondeo unos metros alejado de la parcela experimental.

En un principio la perforación se realizó manualmente mediante una barrena de 10 cm de diámetro sin ningún problema hasta llegar a una profundidad de -70 cm donde comienza el nivel de gravas. A partir de esa profundidad, fue muy dificultosa la recuperación de los ripios de perforación y, por lo tanto, la profundización de la perforación, debido a dos motivos:

- Las gravas presentan formas planares con su eje mayor dispuesto horizontalmente y con diámetros de 1-8 cm formando un empaquetamiento de trama intacta (granos en contacto). Como el diámetro de la perforación utilizado es de 10 cm, para extraer los cantos había que partirlos y/o moverlos hasta situarlos centrados en el sondeo y a continuación engancharlos con el tomamuestras y extraerlos.
- Las arenas finas que constituyen la matriz de la capa de gravas eran extraídas con facilidad por encima del nivel freático, pero por debajo se producía sifonamiento en el tomamuestras.

Se intentaron varias soluciones:

- Rebajamiento del nivel freático mediante bombeo del agua del Pozo EMA con una motobomba, pero el nivel se recuperaba más rápidamente que la duración de las maniobras.

- Esperar a una situación de aguas bajas para realizar la perforación, fue una buena solución hasta que la perforación alcanzaba de nuevo el nivel freático.
- Perforación a percusión mediante un equipo alimentado por motor de gasolina tipo Cobra; aunque con dificultad permitía la fragmentación de las gravas pero su saca- testigos no permite recuperar los rípios cuando existe una alta proporción de agua.
- Instalación de una tubería de revestimiento de acero estirado de 10 mm de diámetro exterior que se iba clavando en el terreno a medida que se perforaba e impedía el colapso de las paredes del sondeo por sifonamiento, de modo que el poco material extraído no era sustituido por el caído de las paredes.

De este modo, la perforación consiguió llegar a una profundidad máxima de 172 cm.

Durante la perforación del pozo se instalaron unos palees de madera alrededor de la boca del pozo ya que cuando la superficie del suelo es arcillosa y está húmeda, al hacer fuerza para la perforación la superficie del suelo sufre una intensa alteración.

CARACTERÍSTICAS DEL POZO

El criterio utilizado para elegir el diámetro de la perforación y de los tubos fue que la perforación pudiese realizarse mediante métodos manuales (más baratos) y que el diámetro interno de los tubos (= diámetro nominal = DN) permitiese instalar una sonda de nivel por presión, hacer bombeos de purga y muestrear.

Las principales características del Pozo EMA se resumen en la figura 3.

Se utilizaron tubos de PVC-U de la marca SBF-Preussag de DN = 50 mm lo que permite la introducción de la manguera de una motobomba para realizar las purgas previas a los muestreos, previa extracción del sensor de nivel. Estos tubos se presentan en tramos de 1 metro de longitud.

En la parte superior del sondeo (de 0 a 70 cm) se utilizó un tubo ciego.

En la parte inferior del sondeo (de 70 a 146 cm) se instaló un tubo con ranuración horizontal de fábrica de 0.75 mm de grosor, de este modo la zona filtrante queda prácticamente situada por debajo de la franja de suelo controlado por la parcela experimental que llega hasta los 95 cm de profundidad y frente al nivel de gravas, que es el que presenta la mayor conductividad hidráulica del acuífero.

En general, en los piezómetros debe evitarse la instalación de tubos con ranuraciones realizadas manualmente mediante una sierra ya que el grosor que se obtiene es bastante variable y en ningún caso se pueden obtener ranuraciones finas (< 2 mm), por lo que a los pocos días o semanas el piezómetro suele colmatarse quedando inservible.

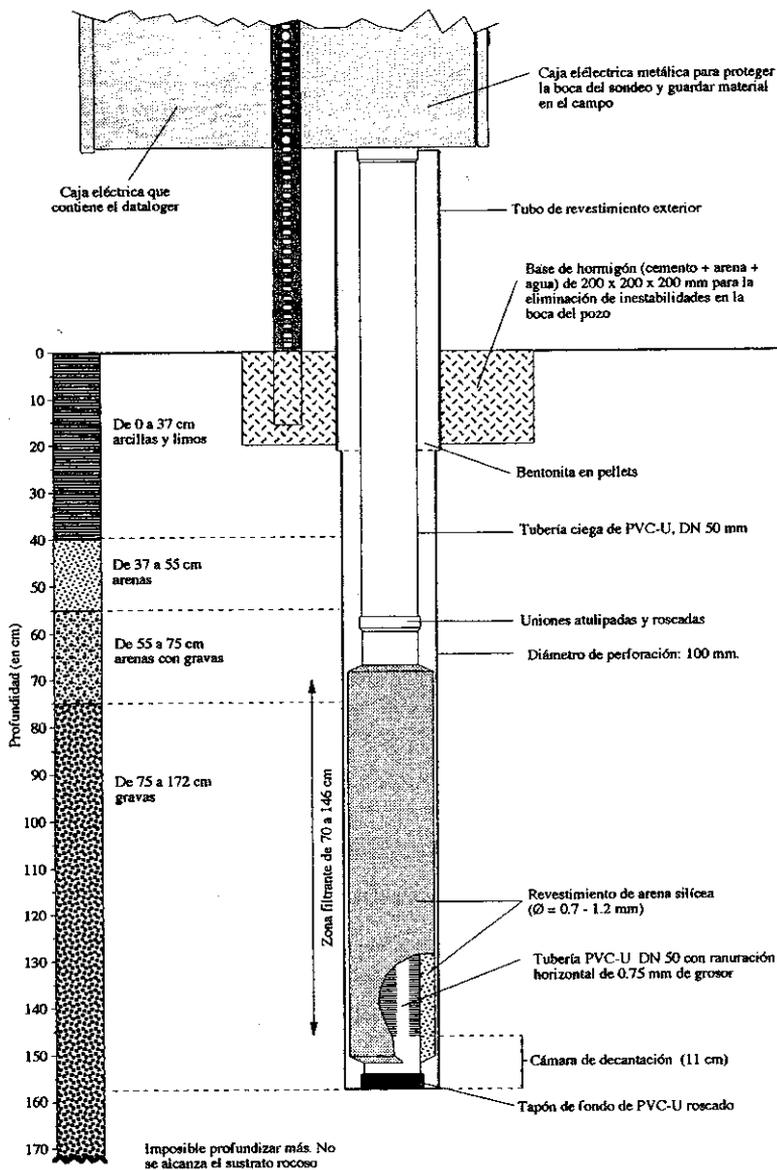


Fig. 3. Perfil del suelo y características constructivas del Pozo EMA

dificultaba la instalación de una capa uniforme de arena silícea desde la boca del pozo, por lo que se eligió un modelo de tubo ranurado que incluye también de fábrica un revestimiento exterior de una capa de 15 mm de espesor de arena silícea de $\varnothing = 0.7 - 1.2$ mm unida mediante una resina epoxy que asegura una distribución homogénea del espesor de la capa filtrante. De este modo el diámetro exterior del tubo más la capa de filtro es de 91 mm.

En general, no debe usarse arena carbonatada como material filtrante ya que ésta puede disolverse y precipitar taponando los huecos y ranuras. En Arkaute, normalmente, las aguas subterráneas se encuentran saturadas en CaCO_3 (Arrate et al., 1995) por lo que con el tiempo llegará a producirse una disminución de la conductividad hidráulica del pozo por precipitación de CaCO_3 . Los bombeos de purga previos a la toma de muestras de agua subterránea retrasarán notablemente la aparición de este fenómeno.

Si bien, en un principio, sólo se están analizando parámetros químicos inorgánicos, se han evitado las uniones entre tubos mediante pegamentos orgánicos, utilizando uniones roscadas, para que en un futuro se puedan muestrear sustancias orgánicas como pesticidas.

Para evitar la entrada de finos por el fondo de sondeo, el tubo piezométrico se ha cerrado inferiormente con un tapón de fondo. La cámara de decantación permite que los posibles finos que entren al sondeo se depositen en la parte más baja sin dificultar el paso de agua a través del tubo filtrante.

Para evitar que al piezómetro entre agua de escorrentía superficial desde la superficie, se utilizó bentonita en pellets (figura 3) para sellar la parte superior del sondeo tal y como se hace en los sondeos de agua subterránea para separar dos niveles acuíferos. Sin embargo, parece ser que los sellos de bentonita en la zona no saturada no son efectivos, ya que cuando la bentonita no está hidratada se contrae y se forman grandes grietas que constituyen conductos de alta permeabilidad. Una vez que el agua se pone en contacto con la bentonita, ésta necesita entre 24 y 72 horas para expandirse totalmente y constituir un sello eficaz.

Un sello en la zona no saturada debería estar formado por cemento puro sin arena: 4 partes de cemento portland + 5 partes de agua (Nielsen & Schalla, 1992). El poco espesor del espacio anular entre la perforación y el tubo (2 cm) impide que sea rellenado mediante bombeo, pero al estar cerca de la superficie (< 1 m) puede ser introducido por gravedad (= caída libre). En este caso, para evitar la entrada del cemento puro en el revestimiento de arena silícea y que tapone sus poros, sobre el revestimiento de arena silícea puede instalarse una fina capa de bentonita. Una vez instalada la bentonita se añade agua y se espera a que se expanda totalmente antes de verter el cemento puro. Aunque el problema no parece totalmente resuelto ya que Correas (1994) indica que el cemento se vuelve permeable por procesos de contracción.

Para evitar inestabilidades en la boca del pozo, se instaló una base de mortero (cemento + arena + agua) de 20 x 20 x 20 cm alrededor de la boca

del sondeo, así como un tubo de revestimiento exterior de PVC de 110 mm de diámetro exterior que también sirve para proteger el tubo piezométrico de la exposición directa a la luz solar y evita la entrada de escorrentía superficial al piezómetro.

Esta base de mortero se ha aprovechado también para cimentar unos ángulos metálicos sobre los que se ha atornillado la caja eléctrica que contiene un datalogger que almacena los datos registrados por los sensores instalados en la parcela experimental y una caja eléctrica metálica que sirve para proteger la boca del piezómetro y para guardar material en el campo.

Una vez finalizada la instalación de la entubación se procedió a realizar varios bombeos para limpiar y desarrollar adecuadamente el piezómetro.

NIVELES PIEZOMÉTRICOS REGISTRADOS Y ELECCIÓN DEL SENSOR DE NIVEL

En un principio se instaló en el Pozo EMA un limnógrafo de flotador. Con objeto de poder relacionar las medidas de nivel efectuadas en el Pozo EMA con las del Pozo Huerta situado a casi 300 m al Este del anterior y a una cota 160 cm inferior respecto al Pozo EMA, se han mantenido los limnógrafos en ambos puntos.

En la figura 2 se presenta un ejemplo de los resultados obtenidos en el que se puede observar que:

- Los niveles piezométricos se elevan casi inmediatamente tras una lluvia significativa.
- Los días 20 y 21 de febrero de 1996 se producen precipitaciones en forma de nieve. La cantidad total de agua caída en forma de nieve calculada a partir de un pluviómetro dotado de calefacción eléctrica y de la temperatura del aire fue de 22.9 mm; considerando que la nieve reciente tiene una densidad de 0.1 kg/m³ resulta una altura de nieve de 22.9 cm. El día 23 a las 11:00 GMT se midió una altura de la capa de nieve de 24 cm. La diferencia entre ambas medidas puede deberse a que este tipo de pluviómetros infraestiman las precipitaciones de baja intensidad que se producen a temperaturas bajo cero. El periodo de fusión abarca desde el día 23 al 28 de febrero dando lugar a ciclos diurnos de ascenso del nivel freático de pequeña amplitud coincidentes con los periodos de temperaturas del aire positivas. El bombeo del día 28 seguramente es para la limpieza del barro de las calles. El día 2 de marzo por la mañana sólo quedaban algunas pequeñas manchas de nieve en zonas de sombra.
- El día 14 de marzo las precipitaciones comienzan en forma de nieve, pero posteriormente cae una cantidad importante de lluvia y sube la temperatura con lo que la nieve se funde totalmente y el limnograma resultante muestra la forma típica de un ascenso debido a lluvia.

- Respecto al Pozo Huerta, el limnigrama del Pozo EMA presenta fluctuaciones menores y más suaves, sus picos de subida del nivel freático son menores, sus coeficientes de agotamiento menores y los niveles más próximos a la superficie (figura 2). Estas observaciones son coherentes con el hecho de que el Pozo EMA se encuentra más próximo a un punto de descarga del acuífero (figura 1). La dirección de flujo local es SE -> NW (Arrate et al, 1995). El Pozo EMA está situado a 150 m al SE de una balsa-piscina que conecta con el Canal de la Balsa que constituye uno de los principales drenes de esta parte del acuífero, mientras que el punto de drenaje más próximo al Pozo Huerta lo constituyen las Balsas de Zurbano situadas a 1 km al NW (figura 1).
- En el limnigrama del Pozo EMA se observan periodos en los que se ha registrado una línea recta horizontal habiéndose comprobado que el flotador se atasca como consecuencia de que el flotador y el contrapeso chocan o se enrollan sus cables. Esto es debido al notable diámetro del flotador (45 mm) respecto al interior del tubo (50 mm), a que las variaciones de nivel son similares a la longitud del pozo y a la presencia de algunos caracoles pegados en el interior del tubo. Por este motivo se decidió sustituir el limnigráfico de flotador por otro sistema de medida del nivel freático.

Considerado el pequeño diámetro de la entubación, el rango de variación de alturas del nivel freático y la disponibilidad de entradas libres en el datalogger Campbell CR-10 donde se almacenan los datos de humedad y tensión matricial en la parcela experimental de la zona no saturada se decidió instalar un sensor de nivel por presión. Se ha elegido un sensor Druck modelo PDCR 940 que permite realizar medidas en un rango de 7 m de altura de lámina de agua y que tiene 3 cm de diámetro por 12 de largo.

CONCLUSIONES

En ocasiones, lo más fácil en teoría resulta complejo en la práctica. La resolución de aspectos prácticos es fundamental si de ello depende la correcta interpretación de los datos adquiridos.

El piezómetro instalado en el Pozo EMA está permitiendo obtener muestras del agua subterránea y realizar medidas fiables del nivel freático.

El Pozo EMA y el Pozo Huerta constituyen los únicos puntos donde se realiza actualmente un seguimiento en continuo del nivel piezométrico en el Acuífero Cuaternario de Vitoria-Gasteiz. Si bien éste no es un acuífero que presenta importantes reservas, si es ampliamente aprovechado por las explotaciones agrícolas de la zona lo cual ha producido problemas de contaminación por nitratos, etc, además al estar el nivel freático tan próximo a la superficie debe ser tenido en cuenta en la planificación territorial: zonas húmedas, problemas de drenaje, etc.

El diseño presentado puede ser aplicado a otros lugares con las oportunas modificaciones en lo que respecta a profundidad y localización de los tubos filtrantes.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación está siendo financiada por el Servicio Vasco de Meteorología / Meteorologi Euskal Zerbitzua del Gobierno Vasco y forma parte de un amplio estudio metodológico sobre la estimación de la evaporación e infiltración y su aplicación al País Vasco.

Los autores y el SVM/MEZ quieren expresar su agradecimiento por la colaboración prestada al C.I.M.A. de Arkaute (Departamento de Agricultura y Pesca / Nekazaritza eta Arrantza Saila del Gobierno Vasco).

Las marcas comerciales o productos que se mencionan en el texto son citadas para información del lector pero no constituyen un aval o recomendación para su utilización por parte del Servicio Vasco de Meteorología, ni por parte de la Universidad del País Vasco.

BIBLIOGRAFÍA

- ARRATE, I. (1994): "Estudio hidrogeológico del acuífero cuaternario de Vitoria-Gasteiz (Araba, País Vasco)". Tesis doctoral, 251 pp., Universidad del País Vasco / Euskal Herriko Unibertsitatea.
- ARRATE, I.; RUIZ, M.; ANTIGÜEDAD, I.; IRIBAR, V. SÁNCHEZ-PÉREZ, J.M. (1995): "Estudio hidrogeológico del sector de Salburua (Vitoria-Gasteiz). Orientación para la toma de medidas tendentes a la recuperación de sus zonas húmedas. Estudio preliminar". 50 pp., Informe inédito realizado por el Grupo de Hidrogeología de la Universidad del País Vasco / Euskal Herriko Unibertsitatea para el Ayuntamiento de Vitoria-Gasteiz.
- CORREAS, E. (1994): "Material para el control del agua subterránea". En: *Curso sobre caracterización y control de la contaminación del suelo y subsuelo por vertidos urbanos e industriales*, Oviedo, Junio 1994. 12 pp.
- GONZALO, J.M.; LUENGO, C. & ANTIGÜEDAD, I. (1998): "Criterios para la ubicación e instalación de una parcela experimental para la investigación de la zona no saturada. Aplicación a Arkaute (Araba) y Zamudio (Bizkaia)". En este volumen.
- LATASA, I. (1993): "Depósitos detríticos cuaternarios de la Llanada Alavesa (Cuenca del río Zadorra)". En: *The Late Quaternary in the Western Pyrenean Region*, pp. 361-372, Cearreta, A. & Ugarte, F.M. eds., Ed. Servicio Editorial de la Universidad del País Vasco / Euskal Herriko Unibertsitatea.
- NIENSEN, D.M. & SCHALLA, R. (1992): "Design and installation of ground-water monitoring wells". En: *Practical Handbook of Groundwater Monitoring*, pp. 239-331. Nielsen, D.M. ed., Ed. Lewis (Boca Ratón, Florida).
- SÁNCHEZ-PÉREZ, J.M.; ANTIGÜEDAD, I.; ARRATE, I. RUIZ, M. & MORELL, I. (1995): "Influencia del lavado de nitratos del suelo sobre la contaminación de las aguas

subterráneas del Acuífero Cuaternario de Vitoria-Gasteiz (País Vasco)". En: *Avances en la Investigación en Zona No Saturada* , pp.71-85, Gonzalo, J.M. & Antigüedad, I (eds), Ed. Gobierno Vasco.