

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)

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

Grupo de Hidrogeología. Dpto. de Geodinámica.

RESUMEN

Se presentan una serie de criterios a seguir en la elección del emplazamiento de una parcela experimental para el estudio de la zona no saturada. Estos criterios están relacionados con la disponibilidad de terrenos e infraestructuras y la representatividad (geológica, hidrogeológica y de la cubierta vegetal) a diferentes escalas de la parcela experimental. Se presentan diversos factores a tener en cuenta a escala de parcela: homogeneidad del perfil del suelo, fiabilidad de las medidas dadas por los sensores, mantenimiento de las características de la parcela a lo largo del estudio. Por último, se citan los criterios y factores que han condicionado la elección de dos emplazamientos en la Comunidad Autónoma Vasca (C.A.V.) para la instalación de parcelas experimentales (Arkaute y Zamudio).

ABSTRACT

A series of criteria to be followed in the election site of a test site for the vadose zone study are presented. These criteria are related with the availability of lands and infrastructures and the representativity to different scales of the

test site (geological, hydrogeological and of vegetation cover). At a site scale various factors to be taken into account are presented: homogeneity of the profile of the soil, reliability of the given measures by the sensors, maintenance of the characteristics of the site during the study. Finally, the criteria and factors which have conditioned the election of two sites in the Basque Autonomous Community for the test sites installation (Arkaute and Zamudio) are cited.

## INTRODUCCIÓN

La instalación por parte del Grupo de Hidrogeología de la UPV/EHU (Gonzalo et al., 1995) para el Servicio Vasco de Meteorología / Meteorologi Euskal Zerbitzua (SVM/MEZ) de parcelas experimentales para el estudio de la zona no saturada tiene como objetivo principal la determinación de la evaporación e infiltración a partir de medidas efectuadas en el suelo, así como el conocimiento de sus factores condicionantes en diferentes zonas de la Comunidad Autónoma Vasca (C.A.V.).

La estimación del agua perdida desde el suelo por evaporación e infiltración se realiza mediante balances hídricos según el método del plano de flujo nulo (Royer y Vachaud, 1974) utilizando los datos meteorológicos de las estaciones meteorológicas automáticas (EMA) y la evolución del contenido en humedad en el perfil del suelo y balances de masas utilizando los datos analíticos de las aguas tomadas por los tomamuestras de succión.

En la actualidad se controlan dos parcelas experimentales en dos zonas climáticas distintas, una en la vertiente mediterránea de la C.A.V. (Arkaute) y otra en la vertiente cantábrica, con mayor precipitación (Zamudio). Estas parcelas se instalan con la intención de ser representativas de áreas más extensas, es decir, que los resultados que de ellas se obtengan se puedan extrapolar, en el caso de Arkaute a gran parte de la Llanada Alavesa y en Zamudio al valle del río Asua.

En la literatura científica existe dificultad de encontrar criterios para la elección del emplazamiento de una parcela experimental para el control de la zona no saturada. A continuación se presentan una serie de criterios básicos a tener en cuenta en la elección del emplazamiento de una parcela experimental, deducidos de los problemas encontrados por Morell (1995) y de la propia experiencia de los autores en la instalación y mantenimiento de estas parcelas. Finalmente se discute su aplicación, en la medida de lo posible, a dos ubicaciones concretas: Arkaute (Araba) y de Zamudio (Bizkaia).

## CRITERIOS PARA LA UBICACIÓN DE UNA PARCELA

Decidir el emplazamiento de una parcela experimental para el estudio de la zona no saturada supone tener en cuenta una serie de criterios, que no

siempre es posible cumplir y en tal caso hay que tratar de buscar un equilibrio entre lo perfecto y lo posible.

#### *Disponibilidad de terrenos e infraestructuras*

La existencia de ciertas *infraestructuras* presentes en la zona inmediata a la ubicación elegida pueden simplificar los trabajos de instalación y mantenimiento de la parcela, así como la interpretación final de los datos. Estas infraestructuras son: presencia de toma de corriente eléctrica, toma de agua, vallados perimetrales para la protección de los aparatos instalados, facilidad de acceso (por carretera, caminos), piezómetros donde se pueda medir el nivel piezométrico, estaciones meteorológicas cercanas, etc.

Las primeras ubicaciones a considerar son los centros de investigación agrarios y las estaciones meteorológicas ya que sus gestores pueden ser implicados directa o indirectamente en el estudio que se realiza, su personal puede colaborar en la supervisión periódica del funcionamiento de la parcela y proporcionar otros datos de interés para el estudio.

Respecto a las estaciones meteorológicas, se optará por aquellas que midan un mayor número de parámetros y que su registro sea en continuo. A parte de la precipitación que debe medirse en la misma parcela, para calcular las pérdidas de agua del suelo por evaporación, los métodos más precisos requieren medidas de la radiación solar, velocidad del viento, humedad y temperatura. Además, son también interesantes las medidas de las temperaturas del suelo ya que ciertas reacciones químicas y algunos sensores instalados en el suelo son termodependientes.

#### *Representatividad geográfica de la parcela experimental*

Cuando los resultados del estudio se quieren extrapolar a un área extensa, la elección de la ubicación de la parcela debe venir condicionada por la representatividad geográfica del medio estudiado a una mayor escala.

Esto puede ser de menor importancia si se trata de un estudio puntual o muy local de la ZNS, por ej. un estudio de recarga artificial puntual.

La variabilidad espacial (cambios laterales de facies, espesor variable de la zona no saturada, diferentes usos del suelo, flujos locales o preferenciales,...) dificulta notablemente la extrapolación (Morell, 1995).

#### *Representatividad geológica e hidrogeológica del emplazamiento*

La composición mineralógica de suelo y su granulometría determinan el régimen hidrodinámico y el comportamiento hidrogeoquímico de las sustancias disueltas en el agua de la zona no saturada. Por este motivo antes de decidir una ubicación se ha de conocer la geología e hidrogeología del área a estudiar para descartar en lo posible efectos locales o bien tenerlos en consi-

deración. Es de gran ayuda, por tanto, la existencia de estudios geológicos e hidrogeológicos previos a nivel regional que faciliten una decisión al respecto.

#### *Representatividad de la cubierta vegetal del emplazamiento a diferentes escalas*

La cubierta vegetal de la parcela experimental ha de ser representativa de la zona a la que se quieren extrapolar los datos obtenidos de la parcela. Esto significa que debería tener el mismo tipo de vegetación que se encuentra en su entorno y cambiar al mismo ritmo si alrededor hay explotaciones agrícolas. Sin embargo puede ser habitual que se den diferentes usos al suelo dentro del área a estudiar, o que si se le da un uso agrícola este no sea homogéneo. Todo esto hace muy difícil el que en una parcela experimental se decida el tipo de vegetación que debe tener o incluso si debe tener vegetación. Se puede tomar la parcela como un lugar de referencia y comparar los datos de sus sensores con otros distintos instalados temporalmente en zonas con distinto tipo de vegetación o cultivo.

#### *Homogeneidad del perfil del suelo a escala de parcela*

Se asume que los flujos en la ZNS se producen de un modo unidimensional en la vertical. Por ese motivo, los sensores y tomamuestras se instalan a diferentes profundidades. Como normalmente los sensores y tomamuestras de la ZNS se instalan separados mediante perforaciones realizadas desde la superficie, el perfil del suelo ha de ser constante a lo largo de toda la parcela. Si existe una variación lateral, por ej., un nivel de suelo menos permeable que solo afecta a parte de la parcela, las variaciones en las medidas realizadas en esa zona de la parcela será debidas a la combinación de dos hechos: los cambios que se producen con la profundidad y la variación con la permeabilidad, lo que dificulta notablemente la interpretación de los resultados.

Los rellenos de tierra de origen antrópico suelen presentar heterogeneidades vertical y lateralmente por lo que debe evitarse instalar la parcela sobre este tipo de materiales.

#### *Control de aportes externos de agua*

Al asumir que los flujos en la ZNS son unidimensionales en la vertical sólo se deben controlar los aportes externos de agua a la parcela por el borde inferior y superior.

Los aportes en el borde inferior corresponden a aquellas subidas del nivel freático que alcancen la profundidad de estudio de la parcela. Si existe esta posibilidad deberá medirse el nivel freático en un piezómetro cercano y si éste no existe habrá que construirlo.

En el borde superior los aportes se deben a precipitaciones, riegos o aportes laterales de escorrentía superficial. Para controlar los aportes por precipitación se deberá instalar in situ un pluviómetro, aunque exista en la

zona una estación pluviométrica dada la gran variabilidad geográfica de las precipitaciones. Para evitar la necesidad de cuantificar la escorrentía superficial se deben elegir terrenos horizontales no inundables o a los que no fluya escorrentía superficial. Si ésto no es posible, será necesario instalar algún método de barrera que impida la entrada de la escorrentía superficial.

### *Fiabilidad de las medidas realizadas en la parcela*

La fiabilidad de las medidas está relacionada fundamentalmente con la instrumentación utilizada. Debe conocerse los principios físicos en que se basan los sensores utilizados, su funcionamiento, rangos de actuación, factores de corrección, etc. Además, periódicamente hay que realizar el mantenimiento que precisen y calibrarlos.

Algunos tipos de sensores para el control de la ZNS presentan problemas de diseño o dificultades para su instalación en el terreno que hay que conocerlos y valorarlos.

Probablemente una de las mayores incertidumbres en las medidas proviene del hecho de que la instalación y presencia de los sensores supone una alteración importante de la estructura del suelo.

Los tomamuestras de agua intersticial están sujetos a flujos preferenciales, provocados o no por su instalación, y a procesos de interacción entre el material poroso del dispositivo y el agua, distorsión o agotamiento alrededor de la cápsula, taponamiento de los poros del tomamuestras con el tiempo, etc. En última instancia, el agua recogida puede sufrir modificaciones durante su almacenamiento en el matraz e incluso producirse precipitaciones químicas. La frecuencia de muestreo se debe adecuar a los aportes externos de agua (precipitaciones, riegos, subidas del nivel freático, etc) para evitar que estos eventos queden sin controlar o mal representados.

Los tensiómetros presentan limitaciones en su uso y sólo funcionan en un cierto rango de potencial matricial (entre 0 y 800 hPa) y sus medidas están influenciadas por la temperatura (Gonzalo et al, 1998).

### *Mantenimiento de las características originales de la parcela*

Una vez elegida la ubicación de parcela hay que evitar que sus características originales cambien con la instalación de los sensores y durante el periodo de muestreo. Por ej., si el terreno disponible es de pequeñas dimensiones, realizar un piezómetro estacionando maquinaria pesada sobre la zona donde posteriormente se va a instalar una serie de sensores o pisar continuamente por el interior de la parcela puede variar las características iniciales del suelo de la parcela y hacer que una vez instalada no posea la representatividad que en un principio se había previsto.

Hay que seguir ciertas normas básicas a la hora de trabajar sobre la parcela:

- Limitar el acceso a la parcela exclusivamente al personal implicado en la misma, levantando un vallado de protección perimetral. Durante su instalación trabajar solo por fuera, sin pisar el interior.
- Aunque la parcela esté dentro de un vallado siempre es conveniente establecer en su interior una serie de caminos (p.e. mediante una cuerda a media altura) por los que se pueda pisar de modo que se tenga acceso a toda la superficie de la parcela que requiera mantenimiento.
- Si para instalar algún aparato o sensor se ha de pisar en la parcela, instalar sobre el suelo un material duro de gran superficie (p.e. palés de madera,...) que distribuya el peso y evite las distorsiones de la superficie del suelo.

#### APLICACIÓN DE LOS CRITERIOS DE UBICACIÓN DE PARCELAS A ARKAUTE (ARABA)

##### *Disponibilidad de terrenos e infraestructuras*

La parcela experimental para el estudio de la ZNS de Arkaute está situada dentro del vallado de la estación meteorológica automática (EMA) de Arkaute (G001) perteneciente al Servicio Vasco de Meteorología / Meteorologi Euskal Zerbitzua (SVM/MEZ) en terrenos de la Granja Modelo de Arkaute del CIMA (Centro de Investigación y Mejora Agraria) del Departamento de Agricultura y Pesca del Gobierno Vasco. De este modo, se puede disponer de datos meteorológicos registrados en el mismo lugar, un vallado perimetral que protege los aparatos instalados de los intrusos, tomas de corriente eléctrica y agua, fácil acceso y posibilidad de que los datos registrados puedan ser utilizados también en investigaciones agronómicas.

La EMA de Arkaute está situada a unos 3 km al Este del límite exterior de Vitoria-Gasteiz, presentando la siguientes coordenadas:

Latitud:	42:51:19 N
Longitud:	02:38:02 W
Cota:	514 m

Esta estación almacena cada 10 minutos los datos correspondientes entre otros a los siguientes parámetros:

- Temperatura del aire.
- Humedad relativa.
- Velocidad y dirección del viento.
- Radiación solar global.
- Precipitación.
- Temperatura del suelo a diferentes profundidades.

- Evaporación en tanque evaporimétrico clase A.
- Evaporación en evaporímetro de cerámica porosa tipo Czeratzki.

Los registros de los 4 primeros peámetros permiten estimar la evaporación en periodos cortos (< 1 hora) mediante los métodos de Penman-Brutsaert (Katul y Parlange, 1992), Penman-Monteith (Monteith, 1964), Priestley-Taylor (1972) o la relación complementaria (Bouchet, 1963, Morton, 1983, Parlange & Katul, 1992).

En la parcela experimental se han instalado:

- 5 tensiómetros con transductor de presión (en continuo)
- 5 tensiómetros con manómetro de mercurio
- 5 WCR (Water Content Reflectometry) con medida en continuo
- 1 tubo de acceso a sonda TDR tipo Tube Probe
- 10 tomamuestras de succión
- 1 pozo para medida de nivel freático

#### *Representatividad de la parcela experimental*

##### *Representatividad geológica e hidrogeológica del emplazamiento*

La existencia de estudios hidrogeológicos previos del Acuífero Cuaternario de Vitoria-Gasteiz, tanto a nivel regional (Arrate, 1994) como a nivel local (Arrate et al., 1995) e incluso estudios sobre la ZNS en esta misma zona (Sánchez-Pérez et al., 1994, 1995) han sido una buena herramienta para decidir su instalación.

Desde un punto de vista litológico y granulométrico, los materiales que componen el acuífero pueden clasificarse en tres tipos: arcillas, arenas y gravas. Sin embargo, sus espesores y posiciones relativas en la columna litológica son bastante variables geográficamente debido a los numerosos cambios laterales de facies existentes entre los materiales fluviales y aluviales que conforman la unidad acuífera. La ubicación elegida presenta los tres tipos de materiales.

Hidrogeológicamente, la parcela está ubicada a unos 500 m al Sur de una zona de descarga de este acuífero denominada Balsas de Zurbano y a 1500 m de otra denominada Balsa de Betoño y puede considerarse hidrogeológicamente representativa de esa parte del acuífero.

##### *Representatividad de la cubierta vegetal del emplazamiento a diferentes escalas.*

Dentro del vallado de la EMA de Arkaute de 10 x 10 m, la cubierta vegetal está constituida por pradera natural (gramíneas) que se siega periódicamente. Sin embargo, fuera del vallado existen diversas plantaciones agrícolas en las que según la época y explotación agrícola se planta cebada, patata, remolacha, maíz, trigo, etc. Este es un factor negativo de la representatividad de esta parcela.

### *Homogeneidad del perfil del suelo a escala de parcela.*

Para caracterizar la homogeneidad del perfil del suelo de Arkaute se han realizado numerosas perforaciones que posteriormente se han aprovechado para la instalación de los aparatos. Estas perforaciones indican que el suelo presenta una profundidad suficiente (> 1 m) y una homogeneidad estratigráfica a escala de la parcela. El perfil estratigráfico se puede encontrar en Luengo et al. (1998).

### *Control de aportes externos de agua*

El terreno donde está ubicada esta parcela es horizontal, por lo que los aportes exteriores de agua debidos a escorrentía superficial se pueden considerar nulos. Los debidos a precipitaciones se miden con el pluviómetro de la estación meteorológica.

Para controlar los aportes de exteriores de agua por el borde inferior de la parcela se instaló un piezómetro cuyas características se describen en Luengo et al. (1998).

### *Fiabilidad de las medidas realizadas en la parcela*

Las mayores perturbaciones del terreno se producen durante la instalación de los WCRs (marca Campbell Scientific, mod. CS615). Este sensor tiene dos varillas metálicas paralelas de 30 cm de longitud. Para instalarlos a diferentes profundidades se realizó una fosa de 70 cm de profundidad de la que se extrajo el suelo y tras instalarlos en el terreno en posición inclinada se procedió a rellenar la fosa con cuidado de respetar en lo posible la litología y horizontes del suelo, aunque no se consigue dejarlo como en un principio y se observan numerosas grietas.

Con el tiempo algunos tomamuestras de succión se han taponado dejando de recolectar agua. Después de año y medio de funcionamiento se procedió a duplicar el número de tomamuestras (a las mismas profundidades). Los análisis químicos de fechas coincidentes son similares a excepción de los nitratos. La concentración de nitratos en los tomamuestras viejos es menor de 0.2 ppm y en los nuevos (a 40 cm) de 60-70 ppm. Probablemente se debe a un agotamiento del contenido de nitratos alrededor del tomamuestras, consecuencia de una succión tan prolongada del suelo. Extraídos los tomamuestras viejos del suelo se ha comprobado en laboratorio que no hay retención de nitratos en sus paredes.

Los resultados de los tensiómetros son objeto de estudio aparte (Gonzalo et al., 1998).

### *Mantenimiento de las características iniciales de la parcela*

Se ha tenido cuidado de no alterar el terreno en la parcela de Arkaute al instalar todos los sensores, piezómetro, etc. Al personal encargado de la



jardinería de la EMA se le ha pedido que limite su trabajo de mantenimiento a la siega del césped dentro del vallado de la EMA y que no actúe dentro de los límites de la parcela. Con anterioridad procedían al mantenimiento del césped: siegas, riegos, aplicación de herbicidas en ciertos periodos, etc.

#### ESTUDIO DE UBICACIÓN DE UNA PARCELA EN EL VALLE DE ASUA (BIZKAIA)

Dentro de este mismo proyecto de investigación y con el objeto de comparar los resultados obtenidos en la parcela de Arkaute, situada en la vertiente mediterránea de la CAV, con los que se obtendrían en la vertiente cantábrica (más húmeda), se ha estudiado la posibilidad de instalar otra parcela experimental de la ZNS en la zona del valle del río Asua (Bizkaia), por su proximidad al Campus de Leioa de la UPV/EHU y la posibilidad de disponer de terreno cercano a una nueva EMA del SVM/MEZ.

##### *Primera ubicación*

En terrenos del SIMA (Servicio de Investigación y Mejora Agraria) en Derio del Departamento de Agricultura y Pesca del Gobierno Vasco, con similares infraestructuras que la Granja de Arkaute, incluida una estación meteorológica automática en sus inmediaciones que mide precipitación, humedad relativa, temperatura y viento a 10 m. Las medidas de radiación solar se pueden tomar de la vecina estación meteorológica automática de Sondika situada a 4,5 km al WNW, así como realizar el complemento de datos ausentes.

Se realizaron una serie de perforaciones en la pradera donde está situada la EMA, encontrándose en profundidad pequeños restos de ladrillo redondeados que indicaban que se trata de un relleno, producto de varios años de actividades agrícolas; además, el sustrato rocoso se alcanzaba a una profundidad entre 40 y 90 cm, variando en tan sólo unos metros de distancia horizontal. Esta especie de huecos en el paleorelieve podía dar lugar a que, en caso de instalar en ese punto una parcela experimental, los datos registrados estuviesen muy condicionados por las características locales y que tan sólo a unos metros de la parcela, los resultados obtenidos fuesen bastante diferentes.

No obstante, se instalaron 4 tensiómetros y un tubo de acceso de sonda Tube Probe para tener datos de esta ubicación (de tipo cualitativo) mientras se estudiaba otra posible zona de instalación de la parcela.

##### *Segunda ubicación*

Se estudió una segunda ubicación sobre una pradera dentro de la Escuela Agraria de Derio. En este lugar, hace años y debido a problemas de encharcamientos en el suelo, se instaló un sistema de drenaje subterráneo formado por una serie de zanjas de 60 x 60 cm de sección vertical en las que se instaló un

tubo perforado rodeado de grava. Estos drenes están dispuestos paralelamente cada 5 m siguiendo la línea de máxima pendiente y desaguando en un dren transversal. Así mismo, se había realizado una sobreelevación del terreno vertiendo con suelo natural procedente de Markina (a unos 40 km). Como no fue posible localizar los planos de la situación de los drenes fue necesaria la realización de 28 perforaciones manuales con barrena para ubicar con precisión la traza de los drenes.

En las perforaciones se constató que el sustrato rocoso se alcanzaba a una profundidad constante de 1 m y que, visualmente, el suelo presentaba un aspecto homogéneo. Sin embargo, esto no tiene por qué asegurar un comportamiento hidráulico homogéneo tratándose en parte de un relleno. Además, los sensores para el control de la ZNS deberían ser instalados paralelamente a los drenes y los valores medidos siempre estarían condicionados por el funcionamiento de los drenes. Estos motivos hicieron que esta ubicación también fuese descartada por su representatividad puntual y posibles heterogeneidades en el perfil del suelo dentro de la parcela.

### *Tercera ubicación*

Se ha estudiado una tercera ubicación en Zamudio, a unos 1400 m al NE de la EMA de Derio que ha resultado ser la definitiva. El terreno pertenece al Parque Tecnológico de Zamudio que a su vez lo tiene cedido al SIMA de Derio que tiene instaladas diferentes plantaciones donde realizan ensayos de cultivos, balance de nitratos, balance de humedad del suelo, etc. por razones de representatividad geográfica del terreno. El perfil del suelo es homogéneo. Las coordenadas de esta parcela son:

Latitud:	43:18:05 N
Longitud:	02:51:45 W
Cota:	58 m

Esta ubicación no fue elegida en un principio por su falta de infraestructuras (disponibilidad de electricidad, agua, existencia de una valla para la protección de los aparatos) y por presentar una ligera pendiente. Sin embargo, se ha llegado a un acuerdo con los investigadores del SIMA que permite cofinanciar parte del coste de ciertos elementos de infraestructura, el primero de los cuales consiste en la colocación de un vallado perimetral para la protección de los aparatos que ahí se van a instalar.

El Grupo de Hidrogeología de la UPV/EHU está instalando dentro del vallado 5 tensiómetros y 5 sondas WCR conectados a un datalogger, 10 tomamuestras de succión, un tubo para medidas con un TDR con sonda Tube Probe, un pozo para medida del nivel piezométrico y toma de muestras, un pluviómetro de recogida de agua de lluvia para su posterior análisis. Por su parte, el personal del SIMA instalará en cada plantación un tubo para sonda

de acceso Tube Probe así como tomamuestras de succión a distintas profundidades. Ambos grupos utilizarán los datos de la EMA del SVM/MEZ de Derio, compartiendo todos los datos obtenidos.

Se pretende dejar en el interior del vallado, parcela y zona circundante, hierba corta y comparar los resultados de humedad, tensión y analítica con los resultados que se obtengan en cada plantación.

#### CONCLUSIONES

Se ha pretendido en este artículo presentar una serie de aspectos prácticos a considerar en la elección e instrumentalización de una parcela para el estudio de la ZNS, y que condicionan notablemente el grado de cumplimiento de los objetivos previamente propuestos.

Los aspectos aquí considerados derivan de la experiencia concreta en la implementación de dos parcelas experimentales en el País Vasco, en las que, a base de planteamientos y replanteamientos, se ha llegado finalmente a asegurar un buen grado de representatividad de las mismas a diferentes escalas.

#### 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 para la estimación, con medidas de campo, de la evaporación e infiltración y su aplicación a la Comunidad Autónoma Vasca.

Los autores y el SVM/MEZ quieren expresar su agradecimiento por la colaboración prestada al C.I.M.A. de Arkaute y al S.I.M.A. de Derio (Departamento de Agricultura y Pesca / Nekazaritza eta Arrantza Saila del Gobierno Vasco), a la Escuela Agraria de Derio y al Parque Tecnológico de Zamudio.

#### 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.

- BOUCHET, R.J. (1963). Evapotranspiration réelle et potentielle, signification climatique. General Assembly, Intl. Assoc. Sci. Hydrol. 62, pp: 134-142.
- GONZALO, J.M., ANTIGÜEDAD, Y., LUENGO, C. y SANCHEZ-PEREZ, J.M. (1995). Estudio de la zona no saturada en una parcela experimental en Arkaute (Araba). Problemática y resultados preliminares. *Avances en la investigación en zona no saturada*, ed. J. M. Gonzalo e I. Antigüedad, Gobierno Vasco - Eusko Jaurlaritz, pp: 409-420.
- GONZALO, J.M., LUENGO, C. y ANTIGÜEDAD, I. (1998). Problemática de las medidas tensiométricas en la parcela experimental para el estudio de la ZNS en Arkaute (Araba, País Vasco). En este volumen.
- KATUL, G.G. y PARLANGE, M.B. (1992). A Penman-Brutsaert model for wet surface evaporation. *Water Resources Research*, 28, pp: 121-126.
- LUENGO, C., GONZALO, J.M. y ANTIGÜEDAD, I. (1998). Sistema de adquisición de datos en continuo en una parcela experimental para el estudio de la zona no saturada en Arkaute (Araba, País Vasco). Resultados de los dispositivos TDR. En este volumen.
- MONTEITH, J.L. (1964). Evaporation and environment. The state and movement of water in living organisms. 19th Symp. soc. Excp. Biol., Academic Press, New York, pp:205-234.
- MORELL, I. (1995). Algunas consideraciones sobre la zona no saturada: problemática de estudio, tendencias y algunos ejemplos. *Avances en la investigación en zona no saturada*, ed. J. M. Gonzalo e I. Antigüedad, Gobierno Vasco - Eusko Jaurlaritz, pp: 1-32.
- MORTON, F.I. (1983). Operational estimates of areal evapotranspiration and their significance to the science and practice of hydrology. *J. Hydrol.*, 66, pp:1-76.
- PARLANGE, M.B. y KATUL, G.G. (1992). An advection-aridity evaporation model. *Water Resource Research*, 28, pp: 127-132.
- PRIESTLEY, C.H.B. y TAYLOR, R.J. (1972). On the assessment of surface head flux and evaporation using large scale parameters. *Monthly Weath. Rev.* 100, pp:81-92.
- ROYER, J. M. y VACHAUD, G. (1974). Determination directe de l'evapotranspiration et de l'infiltration par mesure des teneurs en eau et des succions. *Hydrological Sciences Bulletin*, XIX, 39, pp: 319-335.
- SÁNCHEZ-PÉREZ, J.M.; ANTIGÜEDAD, I.; ARRATE, I., RUIZ, M. Y MORELL I. (1994). La zona no saturada y la contaminación por nitratos de las aguas subterráneas en el acuífero cuaternario de Vitoria-Gasteiz (País Vasco). *En: Investigación en zona no saturada*. Ed. I. Morell. Universitat Jaume I. pp: 53-66.
- SÁNCHEZ-PÉREZ, J.M., ANTIGÜEDAD, I., ARRATE, I., RUIZ, M y MORELL, I. (1995). Influencia del lavado de nitratos de la zona no saturada sobre la contaminación de las aguas subterráneas del acuífero cuaternario de Vitoria-Gasteiz (País Vasco). *Avances en la investigación en zona no saturada*. Ed. J.M. Gonzalo, I. Antigüedad. Gobierno Vasco - Eusko Jaurlaritz, pp: 71-85.