

## NUEVOS ESTUDIOS SOBRE LA EVOLUCIÓN DE LA ZONA NO SATURADA EN LAS INMEDIACIONES DE CANALES Y BALSAS DE GESTIÓN DE LA RECARGA BASADOS EN LAS ESTACIONES DINA-MAR ZNS EN UN SECTOR DEL ACUÍFERO DE LOS ARENALES

A. E. Fernández Escalante<sup>1</sup>, M. W. Senent del Álamo<sup>2</sup>

<sup>1</sup>: Tragsa I+D+i. C/ Julián Camarillo 6b, 28.037, Madrid. E-mail: efernan6@tragsa.es, web: <http://www.dina-mar.es>

<sup>2</sup>: Tragsatec. C/ Julián Camarillo 6b, 28.037, Madrid. E-mail: mwsa@tragsatec.es, web: <http://www.dina-mar.es>

**RESUMEN.** En junio de 2008 comenzó la recopilación automática de datos de la Zona No Saturada (en adelante ZNS) en una zona regable y en las inmediaciones de dispositivos de gestión de la recarga artificial de acuíferos, todo ello en el marco del proyecto de I+D+i DINA-MAR, “proyecto para la gestión de la recarga artificial de acuíferos en el marco del desarrollo sostenible”, que financia el Grupo Tragsa. Continuando la línea de acción del proyecto presentada en ZNS 09, prosigue la captura de datos en una zona regable donde se llevan a cabo operaciones de gestión de la recarga de acuíferos para el regadío. La información obtenida en estos tres ciclos está permitiendo el diseño y mejora de Técnicas de Tratamiento en Suelo y Acuífero (SATs) aplicadas a la recarga gestionada de acuíferos, con objeto de aumentar la productividad (mayor tasa de infiltración y, mejorar los diseños de obra).

**ABSTRACT.** In the frame of DINA-MAR i+R&D project, which investigates criteria for the most appropriate designs in Managed Aquifer Recharge (MAR) facilities unsaturated zone next to an artificial recharge channel. This article describes the state of the different action lines, as consequence of data collection and the progress in the interpretation after three complete MAR cycle. These results have allowed to improve Soil and Aquifer Treatment Techniques (SATs) applied to increase the infiltration rate from channels, to bring down the Lisse effect, to obtain more accurate hydrogeological parameters, to test classical equations, etc.

### 1.- Introducción

A comienzos del año 2008 comenzó la construcción de dos estaciones conocidas como *DINA-MAR ZNS 01 y 02* en una zona regable sometida a operaciones de gestión de la recarga de acuíferos mediante balsas y canales de infiltración. El área de recarga se sitúa en la Cubeta de Santiuste (Segovia) y el agua para la gestión de la recarga procede de la concesión del río Voltoya. Su finalidad es el estudio de la evolución de la humedad, la temperatura y la tensión a distintas profundidades de la Zona No Saturada (ZNS). La descripción de las estaciones está bien descrita en el artículo previo presentado en el congreso ZNS 09 (Fernández y Merino, 2009). Su seguimiento permite continuar la línea de acción emprendida hace tres años, con nuevos objetivos y nuevas metas.

### 2.- Objetivos

Cabe destacar el conocimiento de la morfología del bulbo de humidificación generados desde el fondo de los dispositivos de recarga; mejorar criterios para la disociación de la recarga natural y artificial; conocer cómo influye la expansión del bulbo de humidificación en los parámetros de la ZNS de cara a contar con criterios para adoptar técnicas de Tratamiento en Suelo y Acuífero (SATs) idóneas; cuantificar tasas de avance (Horizontal y Vertical) del agua de recarga gestionada (bulbo de humidificación) en la ZNS; estudiar en qué grado influyen los distintos parámetros en la capilaridad del flujo darciano y su evolución; estudio de la validez de las ecuaciones aplicadas hasta la fecha (Krayenhoff y Ernst); estimación aire entrampado en el acuífero y de posibles actuaciones para su minimización y, finalmente, el estudio de la influencia del regadío y de los caudales infiltrados. El avance en estas líneas de acción permite caminar hacia el “fin último”: la mejora de los dispositivos de gestión de la recarga para aumentar su efectividad y el diseño y aplicación de Técnicas de Tratamiento de Suelo y Acuífero (SATs).

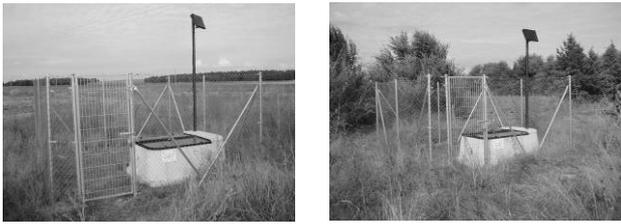
### 3.- Materiales y métodos

Ambas estaciones constan de dos humidímetros electrónicos modelo SDEC HMS-9000 cuyo objetivo es medir la humedad del suelo y su contenido en agua porcentual, basándose en la medición de la permitividad eléctrica. Estos aparatos se encuentran ubicados en torno a 0,5 m y a 2 m de profundidad. También se dispone de un tensiómetro con manómetro tipo Bourdon, Mod. SR1000. El tensiómetro de PVC transparente se utiliza para obtener la medida del potencial hídrico en suelos y se encuentra en torno a 1,05 m. Este sensor se ha empleado para estimar el volumen de aire entrampado en los poros y la compresión centrífuga que ejerce. Los sensores están dispuestos de modo transversal al canal, uno gradiente hidráulico arriba y otro abajo, con objeto de cuantificar el avance del bulbo de humidificación y conocer su morfología y asimetría.

La medición se efectúa cada 15 minutos, y las señales quedan recogidas en un *data-logger Campbell CR8500* (dispositivo electrónico que registra las medidas ordenadas en el tiempo, que provienen de los diferentes sensores), conectado a módem para el telecontrol. Además se realizan mediciones manuales periódicas mediante un *Microterm*, aparato que permite realizar lecturas directas sobre la salida RS232 del HMS-9000

(humidímetro electrónico) y obtener datos instantáneos de humedad volumétrica, permeabilidad dieléctrica, temperatura del suelo (parámetros de calibración de la sonda), además del voltaje de la batería que alimenta los sensores. La disociación del agua de lluvia infiltrada en el terreno y la de la recarga gestionada se realiza mediante el modelo HELP (*Hydrological Evaluation Landfill Performance*) con los datos de la humedad registrados en las estaciones ZNS y mediciones puntuales mediante humidímetro *Eijkelkamp*. Para estudiar los niveles del agua en los alrededores de las estaciones, se lleva a cabo la medición de cuatro pozos y piezómetros en torno a cada estación.

El aspecto de ambas estaciones se presenta en las Figs 1.a) y b) con su ubicación exacta.



**Fig 1** a) y b). Aspecto de la estación DINA-MAR ZNS 1 (X: 369694 / Y: 4557512) en Santiuste de San Juan Bautista (Segovia) y 2 (X: 369246 / Y: 4561559) en Villagonzalo de Coca (Segovia).

A estos métodos de toma de datos hay que añadir el empleo de una cámara termográfica para el estudio de la temperatura en condiciones superficiales. Se trata de un estudio incipiente comenzado en mayo del 2010 y que consiste en evaluar cualitativamente los procesos de colmatación por diferencias de temperatura mediante la termografía infrarroja. Este aparato, usualmente utilizado para detectar deficiencias en estructuras, permite identificar las zonas donde se están produciendo procesos colmatantes al detectar una mayor absorción de calor y por tanto una mayor temperatura en ellos.

El tratamiento estadístico de los resultados se ha llevado a cabo mediante diagramas de caja o de tipo “*Box-Whisker*”, que permiten la exposición simultánea de los valores máximo y mínimo para cada parámetro (medias diarias), el valor medio y los cuartiles inferior y superior (1º y 3º).

La ecuación de *Ernst*, cuyo grado de certidumbre ha sido cuestionado para las circunstancias ambientales de esta experiencia, es específica para cálculos de flujo en régimen permanente en suelos estratificados en los que la capa superior suele tener menor permeabilidad que el estrato subyacente. Para ello considera cuatro componentes del flujo: vertical, horizontal radial y un flujo adicional de entrada atribuible a la recarga artificial. La componente de descarga por flujo radial, que sería la más asimilable a la expansión del bulbo de humidificación en el fondo de los canales es directamente proporcional a la pérdida de carga, e inversamente a la resistencia radial, que se calcula mediante ábacos propuestos por el autor o fórmulas con un componente semiempírico (en Martínez, 1996). Equiparando la región del flujo radial al bulbo de

humidificación, el flujo de entrada a través de la ZNS resulta de aplicar la ecuación:

$$h = s \frac{D_v}{K_1} + \frac{sL^2}{8KD} + sLW_r \quad (1)$$

donde:

- h: Flujo de entrada en ZNS desde el canal de recarga.
- s: descarga específica.
- Dv / D: espesor de la región de menor / mayor permeabilidad.
- K<sub>II</sub> / K: conductividad hidráulica del estrato menos permeable / más permeable.
- L: Distancia para el flujo horizontal.
- W<sub>r</sub>: resistencia radial.

La ecuación de *Kraijenhoff van de Leur* deducida para régimen variable contempla la recarga atribuible al riego y al agua de lluvia, y permite predecir la oscilación y posición de la capa freática en función del patrón de lluvias, parámetros hidráulicos del acuífero y del sistema de drenaje. Se aplica en suelos más homogéneos y acuíferos profundos, por lo que en nuestro caso es preciso introducir las simplificaciones de *Dupuit* para flujo horizontal.

La ecuación considera la precipitación constante (asimilable a la recarga artificial) y que el acuífero ha alcanzado un funcionamiento en régimen permanente, por lo que es preciso introducir la modificación de De Zeeuw para un régimen de lluvias variables (como lo son los caudales de recarga), lo que conlleva introducir “factores completantes”. La expresión de la ecuación queda simplificada así:

$$h' = \frac{\pi}{2\mu\alpha} s_0 e^{-\alpha r} \quad (2)$$

donde:

- h': carga hidráulica residual.
- μ: espacio poroso drenable.
- α: factor de reacción del sistema.
- S<sub>0</sub>: descarga máxima para capa freática más alta.
- αt: función completante.

El factor de reacción del sistema es igual a:

$$\alpha = \frac{\pi^2 KD}{\mu L_0^2} \quad (3)$$

#### 4.- Resultados

El análisis de resultados se ha llevado a cabo, básicamente, mediante el estudio de diagramas estadísticos y de la evolución de la tendencia en las distintas gráficas elaboradas con los parámetros medidos, confrontadas con las variaciones de precipitación, temperatura y otros parámetros ambientales (caudales de recarga gestionada). En algunos casos se describen los procesos interpretados.

4.1.- Datos termo-pluvio tomados en la Estación meteorológica SG-02 hasta finales de 2010

A continuación se exponen un pluviograma

(precipitación media efectiva) y un termograma (temperatura media diaria) para el período comprendido entre las fechas 14 de noviembre de 2008 y 2 de diciembre de 2010, según datos obtenidos de la estación SG-02 de Nava de la Asunción, perteneciente a la *Red Inforiego* de la Junta de Castilla y León (UTM: X: 376254,97/ Y: 4559087,71 / Z: 822 msnm).

La estación SG-02 está situada a 6.747,62 m de la estación ZNS-01, a 7.431,81 de ZNS-2 y a 6.481 m de la cabecera del dispositivo principal de gestión de la recarga (balsa de decantación de 0,8 ha aproximadamente y canales “Este” y “Oeste”).

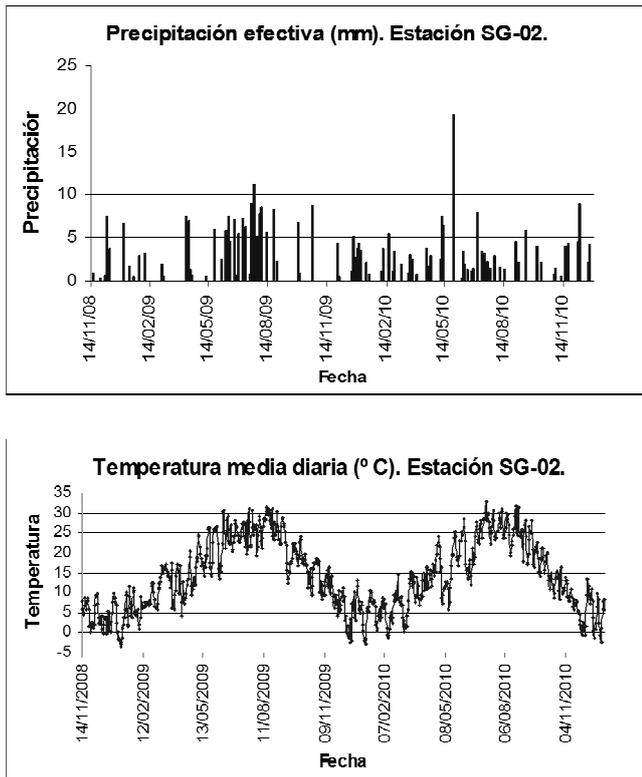


Fig 2. a) y b). Pluviograma y termograma de la estación meteo SG-02, Nava de la Asunción, para la duración del 7º y 8º ciclo de gestión de la recarga en la Cubeta de Santiuste.

El 7º ciclo de recarga artificial comenzó el 1 de octubre de 2008 y terminó el 30 de abril. Durante el primer mes el caudal de entrada en la cabecera del dispositivo tipo canal rondaba los 750 l/s, durante el segundo mes bajó a 500 y desde entonces el caudal entrante osciló en torno a 180 l/s. El volumen total recargado en este período fue de 8,0 hm<sup>3</sup>. El octavo ciclo, 2009/10, al ser excesivamente húmedo, tuvo una duración muy corta (43 días). Fueron derivados 0,91 hm<sup>3</sup> del río Voltoya, y la infiltración para este período, fue de 0,887 hm<sup>3</sup>, lo que representa un 96,4 % del volumen derivado del cauce fluvial.

#### 4.2.-Datos registrados en la Estación ZNS-1 (Santiuste) hasta finales de 2010

Con los datos obtenidos se han elaborado gráficas para su interpretación. En las Fig. 3 y 4 se exponen los parámetros

recogidos en la estación ZNS-01 desde el 18/11/2008 al 2/12/2010. Cabe destacar los periodos de tiempo del 15 de febrero del 2009 al 18 de junio del mismo año, y del 24 de septiembre del 2009 al 5 de marzo del 2010, en los que por avería de la estación, no se dispone de datos.

#### HUMEDAD ZNS-1

En el inicio del séptimo ciclo de MAR, la humedad a 2 m de profundidad presenta un ligero ascenso llegando al 30,10% a mediados de diciembre del 2008. A partir de ese momento, la humedad desciende con gran rapidez hasta finales del mismo mes, momento en el que se registró un valor de 23,57%. A continuación, en la gráfica se observa un aumento muy drástico hasta alcanzar valores cercanos al 93% para posteriormente producirse un descenso muy brusco. Esta tendencia continúa hasta el día 14 de febrero del 2009 que es cuando se dejó de tener datos por avería. En el 2º periodo de tiempo, el humidímetro situado a 2 m da valores negativos, lo que indica que durante ese tiempo el aparato está saturado, a tenor de los niveles en los pozos próximos.

Por último, los datos más recientes que corresponden del 6 de marzo hasta el 2 de diciembre del 2010, se observa como el humidímetro deja de estar saturado para marcar ascensos y descensos graduales de la humedad dentro de un rango del 20 al 25 % (Fig. 3).

En contraste, el humidímetro situado a 0.5 m suele dar unos valores situados alrededor del 20 al 30 %.

#### TEMPERATURA ZNS-1

La temperatura presenta las oscilaciones típicas de las estaciones climáticas, aunque con valores más suaves que en la estación Nava de la Asunción (SG-02). Los valores obtenidos de la humedad reflejan una relación de proporcionalidad inversa a los de la temperatura.

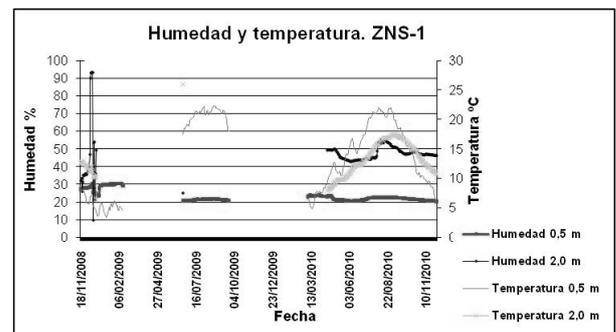


Fig 3. Gráfica de humedad y temperatura registradas en la estación DINA-MAR ZNS 1 de Santiuste. Profundidad de los sensores: 0,5 y 2,0 m.

#### TENSIÓN CAPILAR EN ZNS-1 (1,0 m)

En el primer periodo de tiempo del que se disponen datos, la tensión capilar presenta tendencias claramente proporcionales (Fig. 4). Durante la tercera semana las variaciones de humedad coinciden de manera inversamente proporcional con las de tensión. Cuando el sensor ubicado a 2,0 m entra en saturación, el tensiómetro ubicado a 1,0 m registra una tendencia ascendente en la

última semana de diciembre del 2008. Desde entonces existe una cuestionable correlación directa con la humedad registrada a 0,5 m e inversa, a grandes rasgos, con la temperatura.

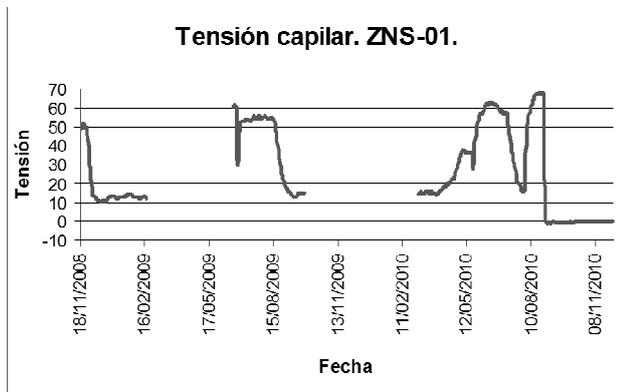


Fig 4. Gráfica de tensión capilar (en KPa) registrada en la estación DINA-MAR ZNS 1. Profundidad del sensor 1,0 m.

En el siguiente periodo registrado, entre los días 19 de junio y 22 de septiembre del 2009, hay que mencionar varios aspectos. Su comparación con las gráficas de la humedad y temperatura a 2,0 m de profundidad apenas dan conclusiones significativas, ya que durante este periodo de tiempo dichos sensores estaban saturados. Sin embargo, con los sensores localizados a 0,5 m de profundidad, tanto la humedad como la temperatura presentan variaciones suaves, al contrario de lo que ocurre con la tensión.

El último periodo de tiempo registrado también está marcado por contrastes. A partir del 31 de agosto del 2010 la tensión alcanza valores negativos que no superan el -1, lo que probablemente indica la entrada de aire a través de la cápsula cerámica. Esta tendencia finaliza el 30 de octubre, momento en el que la tensión aumenta sin llegar a 1. Aunque los datos son anómalos, la variación de tendencias puede aportar información relevante, por este motivo no han sido rechazados.

#### 4.3.-Datos registrados en la Estación ZNS-2 (Coca) hasta finales de 2010

Al contrario de la estación ZNS-01, esta estación dispone de un registro continuo.

#### HUMEDAD Y TEMPERATURA ZNS-2

Las siguientes gráficas reflejan la evolución de estos parámetros a lo largo de todo el período de medición (Fig.5).

Al comienzo de la recarga, en noviembre de 2008, la humedad comenzó a ascender lentamente, teniendo algunas caídas suaves. Es a partir de principios de enero cuando comenzó a aumentar más significativamente, teniendo un ascenso y una bajada muy drástica el 28 de febrero del 2009. Durante marzo la tensión siguió con la misma tendencia, hasta que en abril presentó una cierta estabilización hasta el 18 de septiembre, cuando vuelve a tener un ascenso elevado para luego estabilizarse de nuevo y comenzar una tendencia ascendente muy gradual. En

septiembre del 2010, este parámetro registró un ascenso muy drástico, seguido de unos descensos muy marcados. Esta tendencia perduró hasta principios de noviembre del 2010 cuyos valores se estabilizan alrededor del 20%. En general, se puede observar que sus valores son inversos a los de la temperatura.

#### TENSIÓN CAPILAR EN ZNS-2 (1,05 m).

La tensión capilar del tensiómetro ubicado a aproximadamente a un metro presenta tendencias que guardan cierta proporcionalidad con ambos humidímetros, si bien esta relación no resulta tan nítida como en la estación anterior (Fig. 6).

Este sensor no ha entrado en saturación en ningún momento hasta la fecha. La toma de datos de niveles de piezometría en un pozo muy cercano (8 m) lo confirma, si bien a partir de mediados de diciembre de 2008 el bulbo de humidificación pareció rozar el sensor, dado que aparentemente el canal había entrado en control lateral (hay una distancia de unos 10 metros entre el canal y el sensor más profundo y 12 m al más somero). En este periodo el nivel del agua en el pozo de observación ha oscilado en torno a 1,15 m respecto al nivel del terreno y el gradiente hidráulico resultante con el canal es de 6%. Desde entonces la tensión tiende a aumentar, con ciertos altibajos, a medida que lo hace el nivel freático.

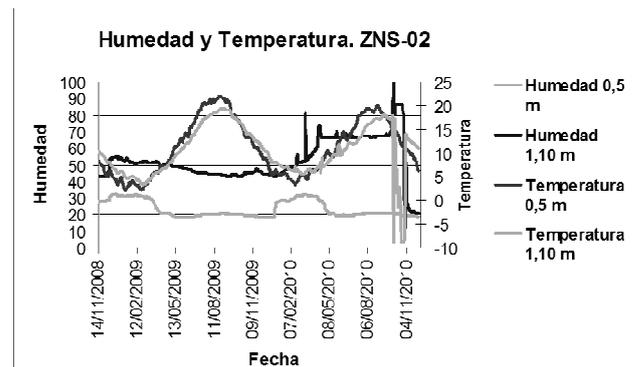


Fig 5. Gráfica de humedad y temperatura registradas en la estación DINAMAR ZNS 2 de Coca. Sensores a 0,5 y 1,10 m de profundidad.

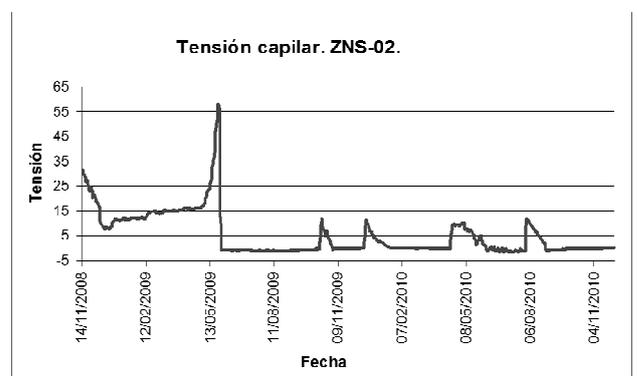


Fig 6. Gráfica de tensión capilar (en KPa) registrada en la estación DINA-MAR ZNS 2. Profundidad del sensor 1,05 m.

#### 4.4.-Nueva línea de acción: Cámara termográfica.

En cuanto al estudio con cámara termográfica se presenta

el siguiente ejemplo: las imágenes inferiores corresponden al fondo de una balsa y de un canal de infiltración. Las variaciones de temperatura que se observan se deben al arado en caballones realizado y a técnicas SAT aplicadas.



Fig 7. a) a d). Comparación entre los aspectos de una fotografía normal y una termografía, con objeto de detectar procesos colmatantes.

En general las arenas eólicas son más claras que los procesos colmatantes, con fuerte carga de finos y tonalidad más oscura. Estos contrastes permiten corroborar la efectividad de los caballones, con mayor colmatación en surcos. Las variaciones térmicas en los surcos se deben, bien a diferencias de altura, vegetación, o procesos orgánicos, con tonalidad más oscura y mayor absorción de calor. En las imágenes de la derecha se observa en las paredes de los canales tonalidades más oscuras hasta la cota del agua circulante. En el fondo se puede diferenciar, además, los tramos donde hay geotextiles enterrados, que dan tonos más fríos y concentran procesos colmatantes alrededor.

## 5.- Discusión

Para tratar estadísticamente los resultados se han elaborado, de manera adicional a las gráficas, sendos “diagramas de caja” para los tres ciclos de control (Figs 8), que han permitido cerrar intervalos en los valores numéricos obtenidos (Fig 8).

Con los datos obtenidos en condiciones “hipercontroladas” y una vez determinado el tiempo preciso para que el bulbo de humidificación alcance cada humidímetro desde el canal de recarga, se ha comparado con el resultado de las ecuaciones teóricas de *Ernst* y *Kraijenhoff van de Leur* para los parámetros calculados de permeabilidad y espesores, considerando el espaciado entre drenes como la distancia en la horizontal entre el fondo del canal y la posición de los sensores.

El resultado de aplicar ambas ecuaciones para la estación ZNS-1 presenta cierta divergencia con las medidas *in situ*. En el caso de *Ernst*, la resistencia radial obtenida en el ábaco de Ernst es próxima a 5,50 d/m. Si consideramos  $W_r$  la incógnita, su magnitud puede ser estimada despejándola en la ecuación y otorgando a  $h$  el valor medido. En este caso

resulta un valor de 5,33 d/m. El flujo vertical obtenido de aplicar la ecuación de *Kraijenhoff van de Leur* resulta en torno a 9,56 m/d, en torno al doble de la permeabilidad horizontal.

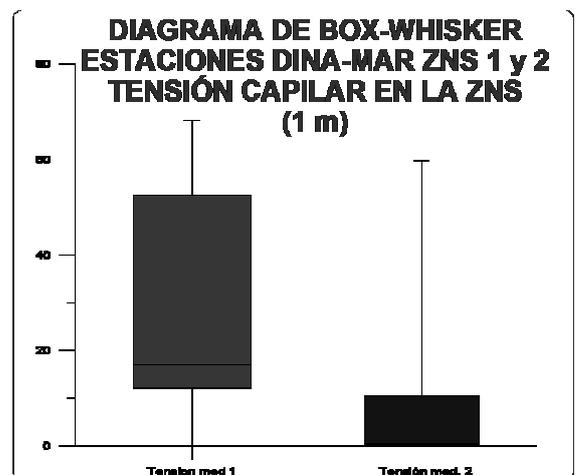
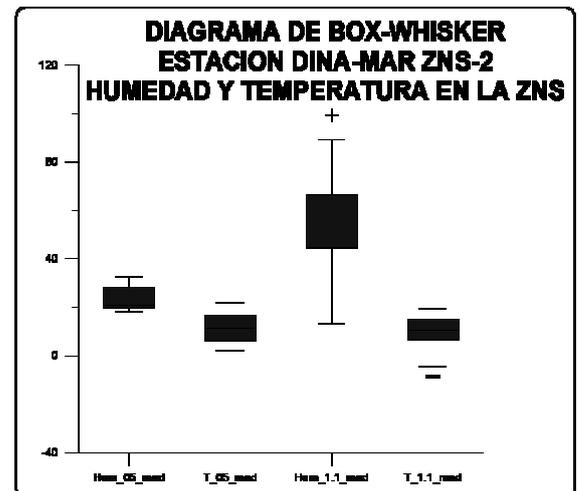
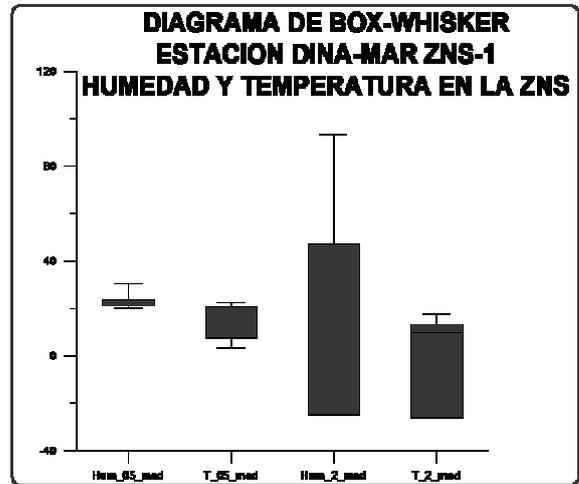


Fig 8. Gráficas de *Box-Whisker* con la representación del tratamiento estadístico de los datos de humedad (a), temperatura (b) y tensión capilar (c) registradas en ambas estaciones.

## 6.- Conclusiones

Se ha llevado a cabo un análisis de los datos de humedad, temperatura y tensión recogidos a lo largo de ciclos de recarga artificial en estaciones de medida adyacentes al canal principal. Se ha controlado el caudal circulante, la precipitación y la temperatura ambiente, lo que ha permitido correlacionar estos parámetros a escala diaria. A tenor de las gráficas obtenidas, la temperatura guarda una cierta correlación inversa con los incrementos de humedad.

Las medidas en los piezómetros de observación a medida que prospera el bulbo de humidificación desde los canales y balsas de recarga artificial lateralmente confirma su morfología asimétrica, con pendiente más pronunciada en contra del gradiente hidráulico natural y un perfil convexo-cóncavo.

Conforme a los “diagramas de caja” elaborados, las tasas de infiltración (expresadas como permeabilidades horizontal y vertical) resultan ligeramente inferiores a las evaluadas en puntos cercanos del acuífero por otras metodologías, con valores cercanos a 15 m/día de  $K_h$  y de 0,5 de  $K_v$  (en MAPA, 2005). Se confirman los valores de: gradiente hidráulico (del 1 al 6%), de permeabilidad (de 4 a 5 m /día en el sector de ZNS-1 y de 1 a 4 m/día en el de ZNS-2) y de transmisividad (de 1.200 a 1.400 m<sup>2</sup>/día) que fueron calculados a partir de los datos del primer ciclo (en Fernández y Merino, 2009).

La recarga natural resulta ligeramente inferior a la calculada aplicando el modelo HELP (en MAPA y Fdez. Escalante, 2005), al menos en los sectores objeto de estudio, lo que conlleva la conveniencia de recalcular los balances hídricos ya realizados.

El flujo de entrada y la carga hidráulica residual obtenidas de aplicar las ecuaciones de *Ernst* y de *Kraijenhoff van de Leur* y su comparación con la variación del almacenamiento en el acuífero registrada, presenta una similitud poco satisfactoria. Por otro lado, la ecuación de *Kraijenhoff van de Leur* ha aportado medidas de flujo de más del doble de los valores medidos, con una residual cercana a 7 m/d. Esto puede ser debido a que las condiciones de contorno no son similares a las planteadas por los autores, y a que se han aplicado fórmulas relativamente simplificadas. Sería conveniente llevar a cabo un modelado para todo un ciclo y aplicar comparativas con resultados reales.

En cuanto a la estimación aire entrampado en el acuífero y del *efecto Lisse* y estudio de actuaciones para su minimización; cabe destacar que la observación del día de navidad de 2008, cuando se saturó el humidímetro profundo de la estación ZNS 1, hecho que se ha interpretado como un proceso asociado al asentamiento de los sensores. No obstante, hay descensos en la humedad previos a alcanzar la saturación de escasa cuantía, lo que se interpreta como el “arrastre” de burbujas de aire en el frente del bulbo de humidificación. Dado que los perfiles del bulbo son oblicuos, parece procedente la perforación de sondeos de desaireación con inclinación parecida al frente del bulbo (6%), si bien no se ha podido realizar este ensayo hasta la

fecha, quedando postergado para etapas posteriores.

A medida que avanza el proyecto surgen nuevos retos, de ahí la conveniencia de mantener la toma de datos buscando los medios de financiación precisos para ello.

*Agradecimientos.* Este artículo ha sido posible gracias al equipo del proyecto de I+D+i DINA-MAR del Grupo Tragsa, C.P. 30-13.053.

## 7.- Referencias

- Fernández Escalante, A.E., 2005. Recarga artificial de acuíferos en cuencas fluviales. Aspectos cualitativos y medioambientales. Criterios técnicos derivados de la experiencia en la Cubeta de Santiuste (Segovia). Tesis Doctoral. Universidad Complutense de Madrid. 2005.
- Fernández Escalante, A.E. y García Merino, A. 2009. Estudio sobre la evolución de la zona no saturada en las inmediaciones de dispositivos de tipo superficial de gestión de la recarga de acuíferos. Las estaciones DINA-MAR ZNS. Primer ciclo de operatividad. *Estudios de la zona no saturada del suelo. Vol. IX, ZNS'09.* Barcelona 2009. pg. 271-280. ISBN: 978-84-96736-83-2.
- MAPA, 2005. Asistencia técnica para el seguimiento y modelización de la recarga artificial en la cubeta de Santiuste de San Juan Bautista (Segovia). DGDR-TRAGSATEC (no publicado disponible para consulta en la biblioteca del MARM, antiguo MAPA).
- Martínez Beltrán, J. 1986. Drenaje agrícola, Vol 1. Manual técnico nº 5. Serie de ing, rural y desarrollo agrario, IRYDA-MAPA.
- MULTIAUTOR 2010. DINA-MAR La gestión de la recarga artificial de acuíferos en el marco del desarrollo sostenible. *Desarrollo tecnológico. Serie Hidrogeología Hoy* nº 6. ISBN: 978-84-614-5123-4. Grupo Tragsa. Madrid, 2010.
- TRAGSA, 2010. DINA-MAR. Proyecto para la gestión de la recarga de acuíferos en el marco del desarrollo sostenible. Memoria final del proyecto. Grupo Tragsa. Documento interno no publicado.