

MODELACIÓN CONCEPTUAL Y NUMÉRICA DE LA CAPACIDAD DE INFILTRACIÓN PARA EL DISEÑO DE BALSAS DE RECARGA ARTIFICIAL EN EL ACUÍFERO DEL LLOBREGAT (BARCELONA, ESPAÑA)

LUNA, Miguel ¹; SALAS, Joaquin¹; MOLINERO, Jorge ¹; QUERALT, Enric ²; RULL, Marina ²; COLOMER, Victoria ³; TREVISAN, Luca ¹; RUIZ, Eduardo ¹; GUIMERÀ, Jordi ¹ y NIÑEROLA, Josep M³

RESUMEN

En este trabajo se presentan los trabajos de caracterización y elaboración de modelos conceptuales y numéricos en relación a la construcción de las futuras balsas de recarga del acuífero del Llobregat (Barcelona, España). El déficit hídrico existente en los acuíferos de la zona, motivado por la ocupación urbana e industrial del suelo, que ha reducido notablemente la superficie natural de recarga, será compensado mediante la recarga artificial con agua de origen superficial. En este sentido, la zona no saturada del terreno juega un papel clave, ya que de su capacidad de infiltración dependerá el éxito de la solución adoptada. Para su evaluación, se han diseñado y construido diversos ensayos piloto, simulando una balsa de infiltración a escala.

ABSTRACT

In this work conceptual and numerical model in relation to ponds for artificial recharge of Llobregat Delta aquifer are presented. The ponds will be constructed in Santa Coloma de Cervelló village, near Barcelona (Spain). The aim is to solve the groundwater deficit existent in this area as consequence of the industrial and urbanistic activity of last decades. Soil occupation has represented a direct impact over the existent aquifer system

¹Amphos XXI, S.L. Passeig de Rubí 29-31, E-08197 Valldoreix, Spain. [Tel:+34935830500](tel:+34935830500), Fax:+34935890091. email: Jorge.molinero@amphos21.com

²Comunitat d'Usuaris d'Aigües del Delta del Llobregat. Avgda.Verge de Montserrat, 133, 1r.2ª.08820 El Prat de Llobregat (Barcelona) [Tel:+34933793216](tel:+34933793216), Fax:+34934780560 email: equeralt@cuadll.org

³Agència Catalana de l'Aigua, C/Provença 204-208 08036 Barcelona. [Tel:+34935672800](tel:+34935672800), Fax:+34934517009. email: vcolomer@gencat.cat

since its natural recharge surface has decreased considerably. The infiltration capacity of the unsaturated zone will play a fundamental role, thus depending on this capacity it will be possible to recharge the aquifer system successfully. In this sense, a pilot infiltration pool has been built to simulate infiltration in a reduced scale. The final objective is to insert the experimental data in a numerical model and simulate the long term aquifer system behaviour.

Palabras clave: Infiltración, Zona no Saturada, Balsas de recarga artificial, Acuífero del Llobregat, Barcelona.

1. INTRODUCCIÓN

El desarrollo económico del área metropolitana de Barcelona ha comportado que el curso medio y el delta del río Llobregat hayan sufrido durante décadas una intensa presión urbanística y de infraestructuras. La progresiva impermeabilización del suelo ha comportado un impacto hidrogeológico directo sobre los acuíferos que conforman el Delta, que de esta manera han visto reducida notablemente su superficie natural de recarga. Este hecho, asociado a una actividad extractiva continuada en el tiempo, ha provocado que actualmente haya un déficit hídrico notable y que se agraven otros problemas, como los asociados a la intrusión salina. La solución a esta esta situación adversa pasa por compensar la falta de recurso, recargando el acuífero de manera artificial con agua de origen superficial, ya sea la del propio río o la de algún sistema alternativo. En este sentido, la *Comunitat d'Usuaris d'Aigües del Delta del Llobregat* (CUADLL), bajo el auspicio de la *Agència Catalana de l'Aigua* (ACA) tiene prevista la construcción de un sistema constituido por dos balsas artificiales; una de decantación y otra de infiltración. El objetivo de la balsa de decantación es evitar la formación de niveles limosos en el fondo de la balsa de infiltración, lo que a medio plazo podría mermar su efectividad.

Las balsas, en su conjunto, tendrán por objeto la infiltración anual de 10 Hm³ de agua. Se desconoce, no obstante, si el terreno tendrá capacidad de infiltración suficiente como para admitir este volumen anual, así como las consecuencias de dicha infiltración en el entorno más cercano, como es la plataforma del AVE. En consecuencia, ha sido necesario realizar una caracterización geológica de detalle mediante diferentes técnicas de prospección. Esta caracterización se ha utilizado posteriormente en la elaboración de

un modelo geológico conceptual, utilizado como base fundamental para la realización del resto de trabajos englobados en este proyecto.

Con el objetivo de reducir el grado de incertidumbre sobre la capacidad de infiltración del medio, la CUADLL ha diseñado y construido un ensayo piloto en base al modelo geológico elaborado. Este ensayo consiste en una balsa de infiltración hecha a escala sobre el mismo terreno, instrumentada y preparada para realizar experimentos previos a la construcción definitiva. A fecha de Abril de 2009, el experimento se encuentra en fase avanzada, sin embargo aún no se cuenta con el tratamiento de los datos, por lo que no se incluyen en el presente artículo. A partir de los datos experimentales obtenidos, se procederá a calibrar uno o más modelos numéricos de flujo subterráneo en la zona no saturada. El modelo o modelos, dependiendo de las necesidades de proyecto, será elaborado por AMPHOS21. El objetivo es poder predecir el comportamiento hidrogeológico del sistema acuífero mediante una herramienta numérica fiable y robusta, validada a partir de datos reales.

2. SITUACIÓN DE LAS BALSAS

Las balsas se construirán en el término municipal de Santa Coloma de Cervelló, al sur de Sant Vicenç dels Horts, ambas poblaciones de la Provincia de Barcelona. La zona se ubica en un terraplén situado entre el margen derecho del río Llobregat y la plataforma del tren de Alta Velocidad (AVE) Barcelona-Madrid (Figura 1)



Figura 1 Situación geográfica de la zona de estudio

Geológicamente, la zona de estudio se ubica en los depósitos aluviales del Delta del Llobregat, en una de las terrazas más actuales, como indica su proximidad al río. Se constituye de materiales detríticos de granulometría diversa, entre arcillas y gravas, de fuerte variabilidad lateral y vertical. El basamento del conjunto sedimentario en esta zona se corresponde con las margas del Neógeno, no obstante, el basamento pasa a ser directamente el Paleozoico para determinadas zonas (Figura 2).

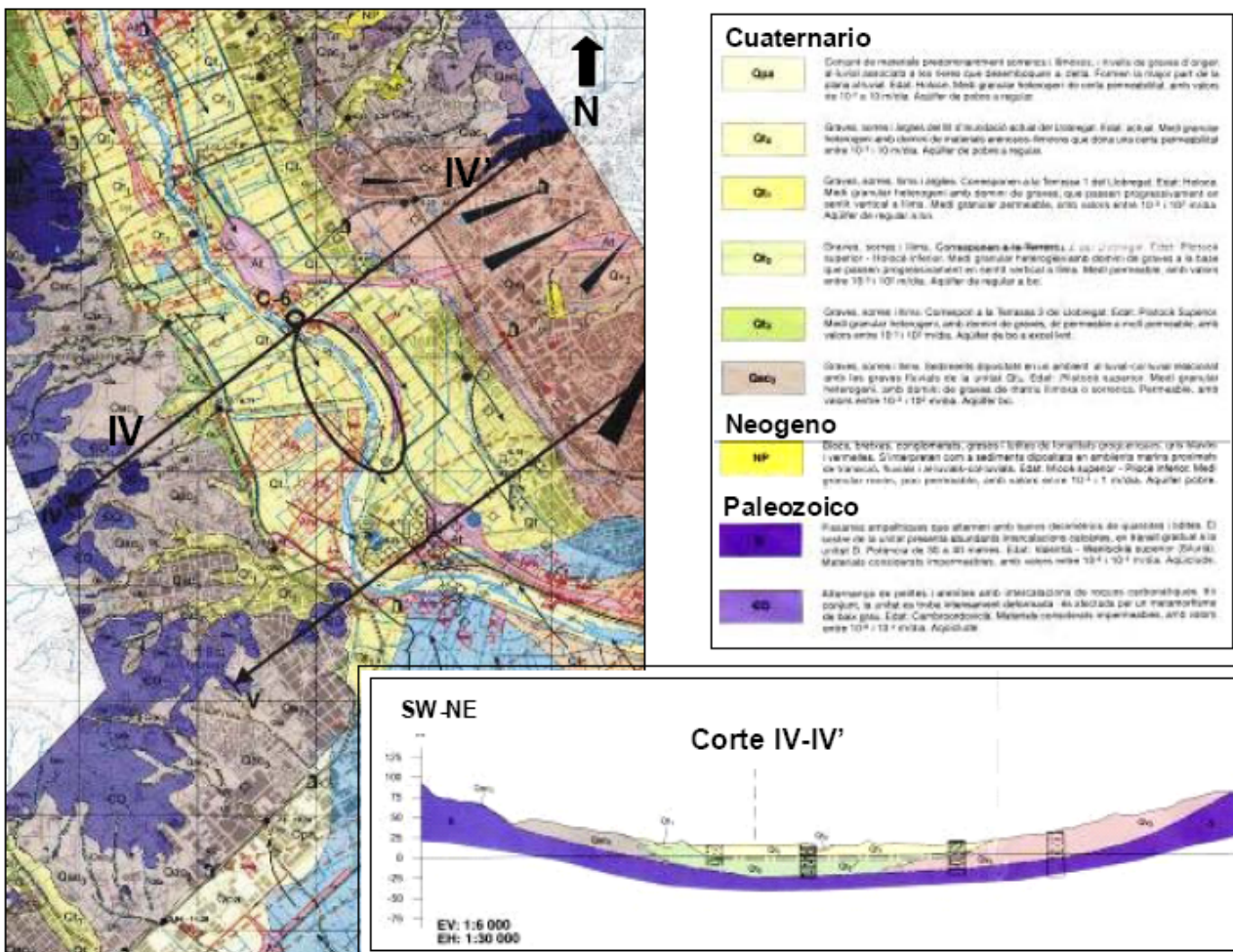


Figura 2 Situación geológica de la zona de estudio. En el corte transversal SW-NE se sitúa hacia el N de la zona estudiada, en la que el basamento se constituye de materiales paleozoicos.

3. MODELO GEOLÓGICO CONCEPTUAL

3.1. Metodología

Se ha realizado una interpretación geológica de la zona de las balsas en base a la información obtenida durante la primera campaña de caracterización con testificación, entre el 4 de diciembre de 2007 y el 25 de enero de 2008. Posteriormente, la interpretación fue validada con los datos de una segunda campaña realizada entre el 1 y el 25 de abril de 2009. Se han elaborado un conjunto de cortes geológicos longitudinales de dirección NNW-SSE y transversales al curso del río Llobregat, de dirección SW-NE considerando una profundidad máxima de 40 metros, a la que se ubica el sustrato precuaternario. La interpretación granulométrica se ha contrastado finalmente con el estudio geoelectrico de la zona.

3.2. Modelo geológico conceptual

Las líneas de correlación representadas en los cortes han permitido estudiar la distribución y evolución granulométrica según los cambios laterales de facies de los diferentes cuerpos sedimentarios, en vertical y horizontal. La interpretación sedimentológica a partir de los cortes geológicos, indica una clara tendencia a la disminución granulométrica de los cuerpos sedimentarios de N a S y también, aunque en menor grado, en sentido E, hacia el río Llobregat. De hecho, en este sector, es donde empieza a desarrollarse la denominada “cuña limo-arcillosa”, que constituye el acuitardo presente en el Delta, y que separa un acuífero superior libre del acuífero inferior o principal, de carácter confinado. La distribución de los cuerpos sedimentarios en relación a la profundidad indica una parte superficial caracterizada por sedimentos heterogéneos limosos y arenosos, con presencia ocasional de gravas.

Por debajo del nivel superficial de limos, se sitúa un nivel conglomerático de potencia variable y continuidad lateral interrumpida por un grupo de arenas y arcillas que lo divide en dos (Figura 3). Hacia el S este nivel se acuña, pasando lateralmente a sedimentos finos que se unen a la cuña de limos. El nivel conglomerático constituye el acuífero superior del Delta. A una profundidad de 20 metros, aparece otra unidad conglomerática inferior, caracterizada por una continuidad lateral extensible más allá de los límites de la zona; esta unidad constituye el acuífero principal del Delta. Los resultados de la prospección geoelectrica han resultado coherentes con las interpretaciones realizadas (Figura 3). Se definen finalmente hasta 4 niveles litoestratigráficos distintos:

1. Depósito limo-arenoso superficial, frecuentemente erosionado y con rellenos de origen antrópico
2. Nivel conglomerático superior, con disminución lateral de potencia hacia el S y el NE. Este nivel se subdivide en dos por la interestratificación de limos y arcillas. De éstos, el nivel inferior desaparece hacia el S, pasando lateralmente a limos y arcillas. Éstos, están en conexión hidráulica con el depósito limo-arcilloso descrito a continuación, lo que configura los 20 metros superiores de la serie sedimentaria en el sector sur de las balsas como un potente paquete de limos y arcillas
3. Depósito arcilloso intermedio, constituyendo el inicio de la cuña de limos del Delta en su sector NW. Este depósito aumenta de espesor hacia el S a la vez que disminuye la granulometría del sedimento en general. Lateralmente pasa de arenas y arcillas a limos y a arcillas y gravas
4. Nivel conglomerático inferior, en contacto con el basamento precuaternario y estructurado como un depósito continuo y potente

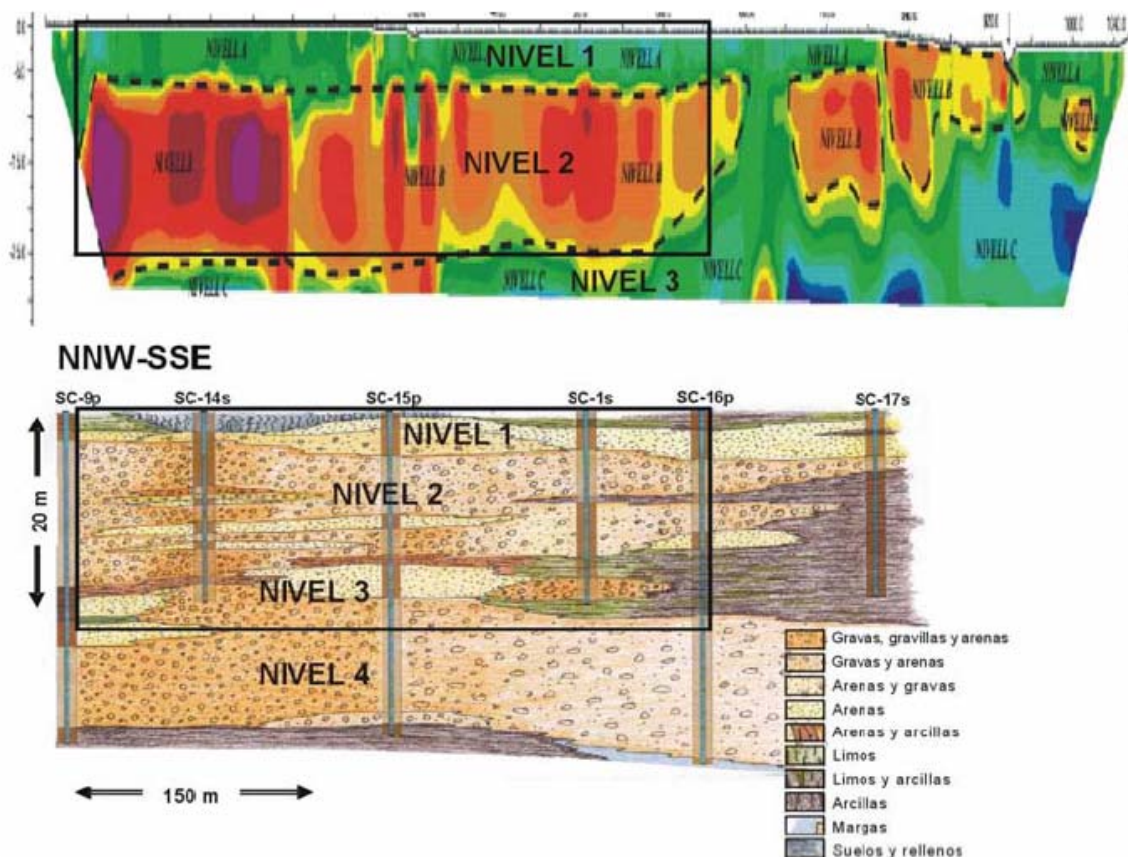


Figura 3 Definición de niveles geológicos a partir de la correlación entre datos de sondeo y resultados de la prospección geoelectrica. El nivel 4 se corresponderá con el acuífero.

4. ENSAYO PILOTO DE INFILTRACIÓN

El ensayo de infiltración se ha realizado mediante una balsa situada en la zona poco permeable de la parcela destinada al sistema de recarga del acuífero. La balsa de ensayo excavada tiene una superficie de 120 m² y entre 4,5 y 5 m de profundidad. Los taludes tienen una proporción aproximada de 1:1. El agua de recarga es la del río Llobregat extraída mediante una bomba sumergible de 2,2 kW de potencia y un caudal nominal de 40 m³/h. El caudal de entrada a la balsa se ha medido con un caudalímetro. La medición de la lámina de agua en el interior de la balsa se ha controlado con una regla limnimétrica y un sensor de presión de agua en continuo tipo TD.

El control del nivel piezométrico se ha llevado a cabo mediante sensores TD instalados en los piezómetros SC-12, PZ-0-Desc, SC-6, SC-11, SC-16, SC-8, SC-29 i SC-3 (Figura 4).

Al mismo tiempo se ha controlado la calidad del agua recogiendo muestras y parámetros *in-situ* con frecuencia semanal o quincenal (según el piezómetro). También se han instalado sensores en continuo del tipo CTD en los piezómetros adyacentes a la balsa (SC-12 y PZ-0-Desc) y en el agua de entrada para obtener una mayor precisión en la variación de la conductividad eléctrica. El ensayo empezó el día 9 de marzo de 2009 y finalizó el día 31 del mismo mes. El caudal medio aportado a la balsa ha sido de unos 30 m³/h y la tasa de infiltración calculada de unos 5 m³/m²/día. Con los datos obtenidos, se observa que los piezómetros de la balsa (SC-12 y PZ-0-Desc) han aumentado el nivel piezométrico del orden de 9 y 8 m respectivamente, mientras que el resto de puntos de control no notan afección. En estos mismos piezómetros los valores de conductividad disminuyen hasta igualarse a la del agua del río.

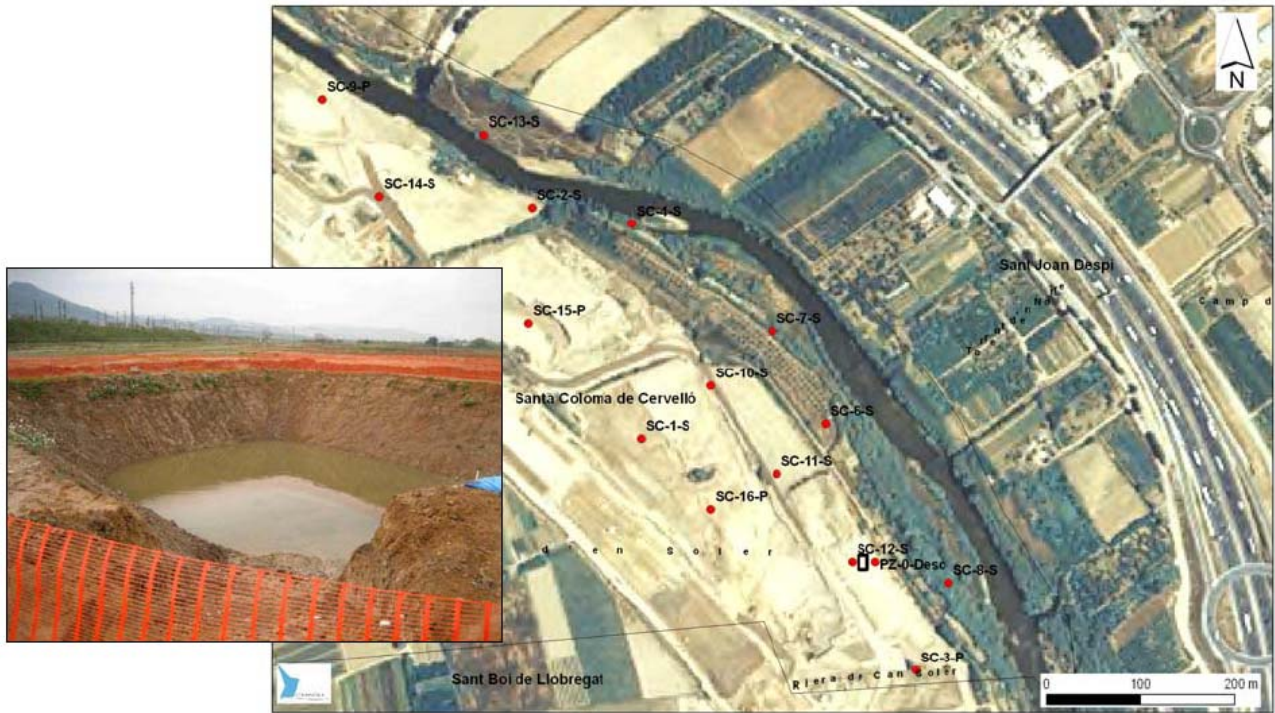


Figura 4 Imágenes fotográficas que ilustran la balsa experimental y la línea de captación de agua superficial (río Llobregat). Fotos tomadas a principios de Abril de 2009.

5. MODELIZACIÓN PREVIA EN ZONA DE BAJA PERMEABILIDAD

5.1. Modelo numérico

En base al modelo geológico conceptual se ha elaborado un modelo numérico 2D preliminar, en condiciones no-saturadas y régimen estacionario. El modelo ha tenido como objetivo la evaluación de los efectos de la recarga artificial en la zona de baja permeabilidad en la que se sitúa la balsa del ensayo piloto aunque considerando una extensión de modelo de 500 m.

El modelo reproduce una de las secciones del modelo geológico, en el que se diferencian 5 materiales básicos: suelos y relleno (1), arenas y gravas (2), arcillas y limos (3), limos y arenas (4) y gravas (5). Los materiales han sido caracterizados hidrogeológicamente a partir de las propiedades de un conjunto de curvas granulométricas patrón, previa comparación con las características granulométricas obtenidas en laboratorio. Sus parámetros básicos se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1 Parámetros de los materiales hidrogeológicos

Material	k_{sat} (m/s)	Φ_s
Suelos y relleno	4,3e-6	0,35
Arenas y gravas	5,4e-5	0,39
Arcillas y limos	8,4e-9	0,41
Limos y arenas	1,4e-7	0,42
Gravas	1e-4	0,35

La distribución de materiales se presenta en la Figura 5. Como condiciones de contorno se ha impuesto nivel fijo para el acuífero inferior respetando el flujo natural y flujo nulo en las capas de limos. Se ha impuesto nivel fijo $h=1$ m en la balsa y se ha considerado la carga adicional de precipitación de 600 mm/a. Las condiciones de contorno y malla se ilustran en la Figura 6

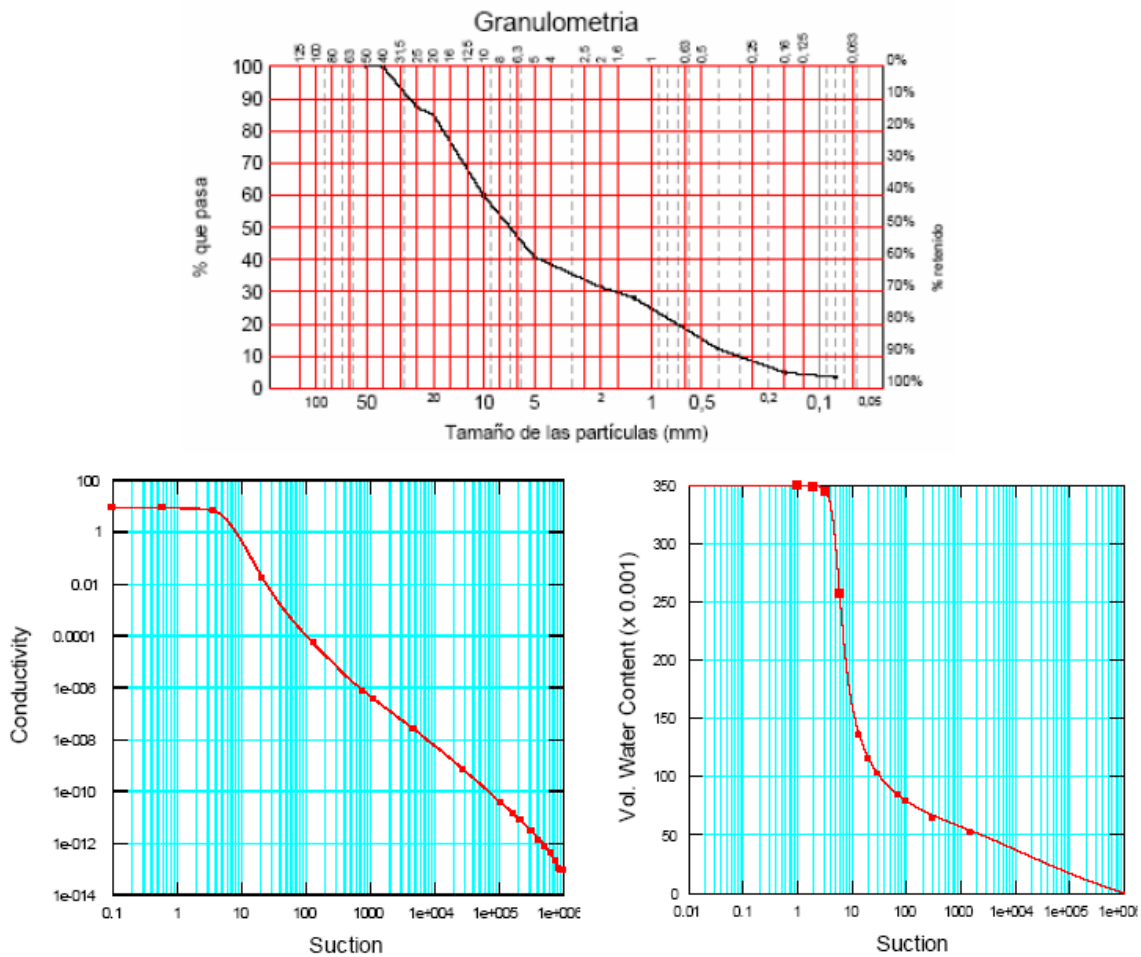


Figura 5 Distribución de materiales en el modelo. Escala vertical exagerada.

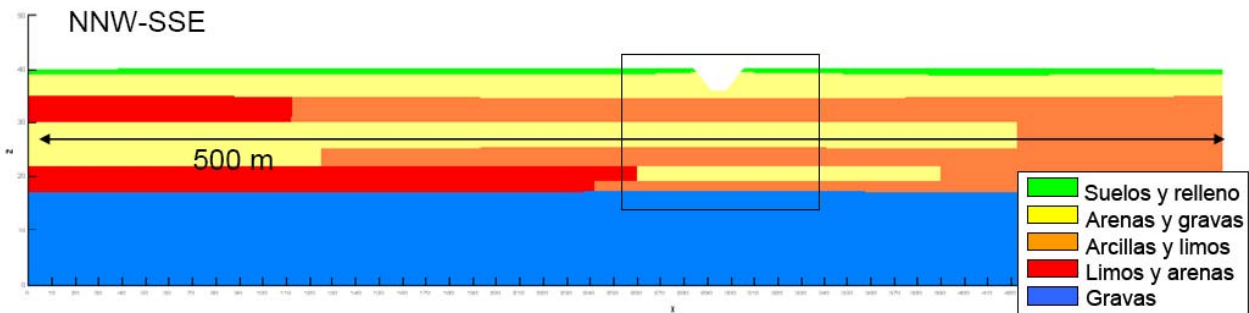


Figura 6 Características de la malla de elementos finitos. Escala vertical exagerada.

5.2. Resultados

Se ha observado como el efecto de los limos es lo suficientemente importante como para retardar la entrada de agua en el sistema, produciéndose un reflujó aguas arriba que es contrario a las condiciones de flujo naturales, de sentido S (Figura 7). Este reflujó, viene controlado por la posición de los niveles limosos de baja permeabilidad, formándose un

nivel piezométrico que se desdobra en 3, correspondiéndose con cada uno de los niveles de limos representados. El flujo invertido, que sin duda hará subir los niveles aguas arriba y a distancia considerable respecto a la zona de las balsas, finalmente se corrige, motivado por presencia de niveles muy permeables de gravas y arenas (Figura 7).

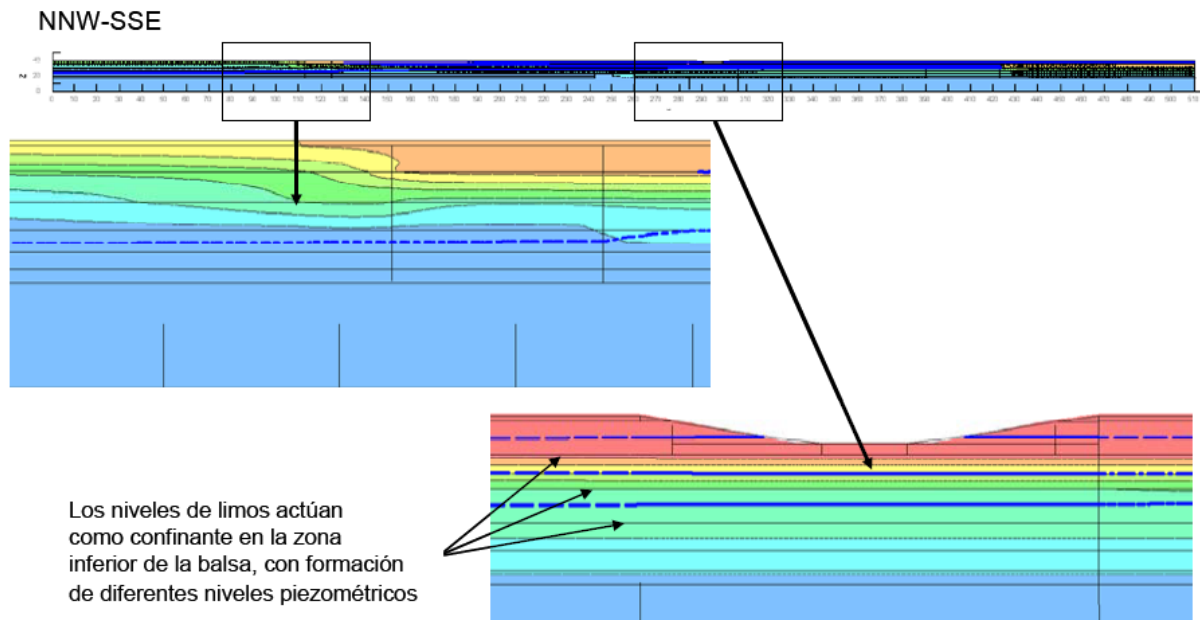


Figura 7 Resultados obtenidos con el modelo preliminar. Se observa el avance del frente de saturación y la formación de diferentes niveles piezométricos determinados por los niveles de limos.

6. CONCLUSIONES

El modelo numérico preliminar, basado en un modelo conceptual de detalle, indica que la infiltración es factible en las condiciones ideales especificadas. El modelo se ha basado en una caracterización hidrogeológica del terreno realizada mediante la comparación de las curvas granulométricas obtenidas en laboratorio con curvas patrón de la literatura, lo que ha permitido obtener parámetros aproximados a los reales para la zona no saturada. Los resultados indican que puede existir un ascenso de nivel importante que afecte a gran distancia aguas arriba de las balsas, sin embargo, debido a que lateralmente existen cambios de facies hacia granulometrias más groseras, es esperable un ascenso menos importante, asociado a su vez a una infiltración más efectiva.

La generación de modelos conceptuales rigurosos y las simulaciones numéricas del proceso de la infiltración en la zona no saturada constituyen herramientas potentes y muy útiles para el diseño de balsas de recarga artificial y la posterior gestión de los recursos hídricos.