

Factores hidrológicos, hidrogeológicos y ambientales con influencia en la elección y eficiencia en el funcionamiento de las bombas manuales

Miguel Martín-Loeches

Departamento de Geología, Geografía y medio Ambiente Universidad de Alcalá
miguel.martin@uah.es

Luis Rebollo

Departamento de Geología, Geografía y medio Ambiente Universidad de Alcalá
luis.rebollo@uah.es

Resumen

Aunque no es posible conocer la posición del nivel del agua subterránea en un punto de un acuífero, existen factores que permiten realizar aproximaciones, tales como la cercanía a los valles fluviales o la presencia de manifestaciones superficiales de humedad. Todos los materiales acuíferos poseen variaciones espaciales de sus propiedades que influyen en la dinámica y posición del agua de manera que es difícil realizar estimaciones precisas. Las oscilaciones piezométricas naturales pueden ser importantes y es fundamental realizar las perforaciones al final de la época seca. Otro aspecto es la calidad de los pozos; un pozo mal construido registrará con el bombeo mayores descensos. El descenso del nivel del agua con el bombeo de una bomba manual no es significativo en acuíferos de transmisividades altas o medias pero puede ser importante en acuíferos de transmisividades inferiores a $1 \text{ m}^2/\text{día}$, como los que se extienden sobre las rocas ígneo-metamórficas de vastas regiones del África Subsahariana, lo que unido a la duración de la época seca en algunas zonas, puede hacer de este un factor muy importante en la eficiencia del bombeo manual e incluso en la elección de la bomba. Es necesario contar con registros de la evolución natural anual de los niveles piezométricos del acuífero y realizar una prueba de bombeo en los pozos para poder elegir la bomba con ciertas garantías y hacer una previsión de sus costes de mantenimiento.

La exploración hidrogeológica para bombeo manual es más económica y no requiere del uso de técnicas sofisticadas si las condiciones climáticas (recarga) y geomorfológicas son adecuadas. Se requiere siempre de la opinión de un experto.

Palabras clave: Hidrología, hidrogeología, bombas manuales, oscilaciones del nivel del agua, África Subsahariana.

Resumo

Embora não seja possível saber a posição do nível do lençol freático, num ponto em um aquífero, existem factores que permitem aproximações, tais como a proximidade dos vales ou a presença de manifestações superficiais de humidade. Todos os materiais aquíferos têm variações espaciais das propriedades que influenciam a dinâmica na posição da água de modo que é difícil fazer estimativas precisas. As flutuações piezométricas naturais pode ser significativa e é essencial para fazer as perfurações no final da estação seca. Outro aspecto é a qualidade dos poços, um poço mal construído registrará maiores quedas com bombeamento. A queda no nível de água por bombeamento de uma bomba de mão não é significativo em aquífero de transmissibilidades altas ou medias, mas pode ser importante em aquíferos abaixo de 1 m²/dia como os que se estendem por rochas ígneas e metamórficas de vastas regiões da África sub-saariana, que juntamente com a duração da estação seca em algumas áreas, pode tornar este um fator muito importante na eficiência de bombeamento manual e até mesmo na escolha da bomba. É necessário ter registros da evolução natural anual dos níveis piezométricos do aquífero e fazer um teste de poços de bombeamento para escolher a bomba com certas garantias e para prever os seus custos de manutenção.

A exploração hidrogeológica para bombeamento manual é mais barato e não exige o uso de técnicas sofisticadas se as condições do clima(tempo) e as condições geomorfológicas são adequadas. Se precisa sempre a opinião de um especialista.

Palavras-chave: Hidrologia, hidrogeologia, bombas manuais, flutuações do nível da água, África sub-saariana.

1. Introducción

La posible captación de agua subterránea explotable depende de numerosos factores que no son controlables en muchas situaciones y conducen a numerosos fracasos. Cuando se dispone de tiempo y capacidad para aplicar técnicas adecuadas (reconocimiento geológico, prospección geofísica, ...) el número de fracasos se reduce, aunque no desaparece pues existen aspectos difícilmente controlables a mediana y pequeña escala como los relacionados con la heterogeneidad litológica o con la estructura tectónica, por citar los más frecuentes.

Las heterogeneidades geológicas anteriormente citadas y la calidad constructiva del pozo hacen que no sea raro que en un mismo acuífero existan captaciones próximas con caudales explotables muy distintos o con diferentes alturas de elevación de agua. Como estos dos aspectos son los más básicos a la hora de seleccionar una bomba para explotar cada pozo, lo más recomendable es esperar a finalizar la construcción y el aforo del pozo para seleccionar la bomba más adecuada para cada pozo. A estos aspectos básicos debe sumarse el efecto que el régimen de bombeo va a provocar en el nivel del agua, que puede ser importante en acuíferos de escasa permeabilidad incluso para bombas manuales, y las características climáticas de cada región (Skat, 2008).

A pesar de ello, existen algunos aspectos hidrogeológicos con una influencia significativa en la profundidad de nivel freático y el caudal esperable de un pozo, aunque las heterogeneidades geológicas y la calidad constructiva pueden modificar significativamente el resultado. Entre los aspectos de mayor significancia hidrogeológica, cabe destacar los siguientes: la topografía, la permeabilidad del acuífero captado y su espesor saturado, la

estructura geológica del subsuelo (que condiciona el tipo de acuífero existente y que puede favorecer la existencia de acuíferos superpuestos) y el régimen de precipitaciones.

2. Las bombas manuales y los pozos

Las bombas manuales son la opción más eficaz de extracción de agua subterránea en las poblaciones rurales dispersas de la mayoría de las regiones desfavorecidas del mundo, fundamentalmente por las siguientes razones:

- No precisan de infraestructuras energéticas.
- Existe una amplia variedad de bombas en el mercado de fácil mantenimiento y reparación.
- Aunque solo son capaces de elevar pequeños caudales, éstos suelen satisfacer la demanda básica.
- Los costes de adquisición e instalación son elevados para los beneficiarios pero asumibles por los proyectos habituales.

Sin ánimo academicista, se pueden agrupar las bombas manuales de extracción de agua en tres grandes grupos, según su capacidad de elevación de agua (ver Tabla 1):

- Las de escasa capacidad de elevación, hasta 15 m (las de succión y las de acción directa, que elevan agua hasta 7 y 15 m respectivamente).
- Las que tienen una capacidad de elevación media, hasta 30 m (las de mecate, y las Indias Mark III, esta última como ejemplo de las bombas con el cilindro de igual anchura que la tubería de elevación).
- Las de alta capacidad de elevación, hasta 50 m (como la Afridev, las de pie, o la India Mark II).
- Las de gran profundidad, hasta 80-100 m (también denominadas “ultra deep”).

Tipo	Escasa capacidad de elevación (de 0 a 15 m)				Capacidad media (hasta 30 m)			Alta capacidad de elevación (hasta 50 m)				G.P. (hasta 80-100 m)	
	Succión	Acción directa			Cuerda	Émbolo (cilindro sumergido)			Pie		Émbolo (cilindro sumergido)		
Algunas marcas	Nº 6	Tara	Nira AF 85	Malda	Mecate	India Mark III	Afridev	U3M	Vergnet	Bush	India Mark II	Volanta	Bluepump
a 5 m	4,5	3,5	3,5	3,5									
a 10 m		1,8	1,8	1,8	1,4	1,8	1,4	1,2	1	1,4	1,8		
a 15 m		1,2	1,2	1,2	1,1	1,3	1,1	1	0,9	1,1	1,3		
a 20 m						1	0,9	0,8	0,75		1	1	
a 25 m						0,9				0,8	0,9		
a 30 m					0,7	0,8	0,7	0,6	0,65	0,7	0,8		
a 40 m												0,5	
a 60 m												0,25	
a 80 m												0,15	
a 100 m													
Capac. de elevación (m)	0-7 m	de 2 a 15 m			de 0 a 30 m	de 10 a 30 m	de 10 a 45 m		de 5 a 50 m		de 10 a 50 m	de 10 a 80 m	hasta 100m

* 75 w es la energía habitual de manipulación de una bomba.

NO ES DE DOMINIO PÚBLICO

Tabla 1. Capacidad de elevación y caudal medio estimado para diferentes tipos de bombas manuales, según Baumman (2000), excepto la información de la Bluepump.

Los modelos disponibles para elevaciones importantes son escasos. Como se ve en la Tabla 1, en regiones donde el agua subterránea se encuentra a menos de 50 metros de profundidad, las bombas manuales más habituales son capaces (el usuario más bien) de elevar caudales próximos a 1 m³/hora. Allí donde la profundidad del agua es mayor, se precisa del uso de las bombas manuales “ultra deep”, cuyo caudal, para 80 m de elevación se reduce a 0.2-0.15 m³/h (Baumman, 2000).

3. Elementos a considerar para la elección de la bomba

En los párrafos siguientes pasamos a enumerar y explicar algunos aspectos que influyen en la profundidad del nivel piezométrico de un acuífero y/o de una captación, y en cómo éste puede variar con el tiempo. Nos atrevemos a abordarlos no sin antes subrayar que no es posible escribir normas universales y que en todos los casos se debe realizar un estudio particular a partir del cual el técnico pueda decantarse por la mejor opción tecnológica. Estos aspectos son los siguientes:

- La topografía, ya que en un acuífero dado, las zonas topográficas más bajas son las que se sitúan más próximas a su nivel freático. Vaguadas, cauces fluviales (permanentes o no), zonas endorreicas, poljes cársticos,... En la Figura 1 reproducimos un esquema de Foster et al (2006) que muestra un acuífero libre formado por alteración de rocas cristalinas, donde se observa que efectivamente el nivel piezométrico se encuentra, en términos generales, más próximo a la superficie en las zonas bajas coincidente con la zona de descarga general, lo que influye en la opción tecnológica de captación y de elevación del agua.

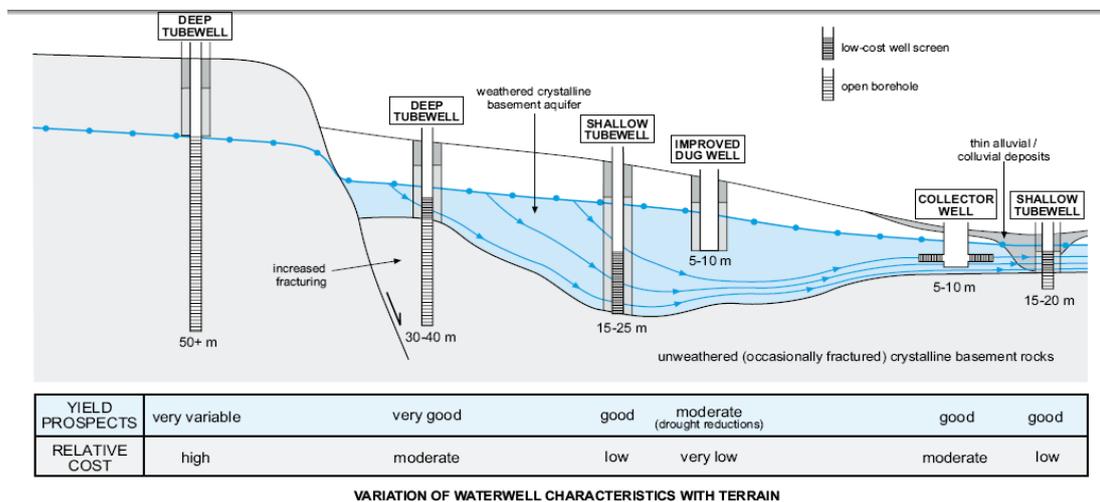


Figura 1. Comparación del coste frente a las perspectivas de caudal de diferentes tipos de captaciones en diferentes posiciones de un perfil idealizado de un sector de escudo ígneo-metamórfico. Según Foster et al (2006).

- El régimen de precipitaciones de la zona. Bien es sabido que en las regiones húmedas, al ser mayor la recarga de los acuíferos, la posición del nivel freático suele ser más somera que en las zonas áridas del planeta. Además en zonas húmedas pueden ser frecuentes pequeños acuíferos subsuperficiales y colgados con el nivel freático muy somero. Las precipitaciones son las responsables de la recarga natural de los acuíferos, de manera que estas provocan un ascenso natural durante las épocas de recarga y un descenso durante el periodo de ausencia de lluvias. Se debería conocer en cada lugar el comportamiento de esta variación piezométrica natural para realizar una buena estimación del descenso final esperado y elegir la bomba más adecuada.
- El régimen de explotación del pozo. Debido a la explotación del agua subterránea, los niveles descienden. En áreas donde existe una época seca muy prolongada (de hasta 8 meses), el uso ininterrumpido de los pozos con bomba manual puede generar un descenso importante que debe estimarse o preverse ya que podemos elegir bombas inadecuadas. Para un caudal de extracción equivalente al de una bomba manual, el descenso del nivel es pequeño en acuíferos con transmisividad (T) superior a $1 \text{ m}^2/\text{d}$

(descensos estimados para 180 días de bombeo-según Bonsor y MacDonald, 2011 inferiores a 5 m). Pero si la T es inferior a $1 \text{ m}^2/\text{d}$, los descensos son importantes y rápidamente se convierten en un factor limitante al disminuirse el caudal y al aumentarse el esfuerzo. Trasmisividades menores de $1 \text{ m}^2/\text{d}$ son muy frecuentes en acuíferos sobre basamentos cristalinos, de manera que es importante realizar esfuerzos para situar las perforaciones en las partes más productivas de estos acuíferos. La única manera de prever el comportamiento del nivel piezométrico con el régimen de bombeo por los usuarios es a través de pruebas de bombeo de larga duración o a través de estimaciones partiendo de pruebas más cortas, con el riesgo de error que ello comporta (ACF, 2005).

- La estructura geológica del subsuelo, ya que, además de condicionar la posible existencia de un acuífero, determina su tipo (confinado, libre, colgado,..) y además puede favorecer la existencia de acuíferos superpuestos.
- La permeabilidad del acuífero captado, ya que, en general, la profundidad del nivel freático tiende a adaptarse más a la topografía, y por lo tanto estar más próxima a ella, en los acuíferos poco permeables que en los permeables. En acuíferos poco permeables sin embargo se provocarán descensos más fácilmente con el bombeo.
- El diámetro del pozo y el espesor saturado que capta el pozo, ya que estos dos aspectos pueden generar conos de bombeo que incrementen significativamente la altura de elevación de la bomba respecto de la posición del nivel freático. Los pozos de gran diámetro tienen una cierta capacidad de almacenamiento de agua que se recarga durante los periodos de parada (un pozo de 3m de diámetro acumula 7 m^3 de agua por cada m de profundidad saturada), por lo que una parte del agua que se bombea procede de este almacenamiento y no se producen grandes descensos ya que se reduce el caudal extraído del acuífero. También en un mismo acuífero, con una permeabilidad (k) homogénea, cuanto mayor es el espesor saturado de un pozo (por tanto mayor T), menor es el descenso del nivel freático al extraer un caudal dado. En el caso de las bombas manuales, debido a su reducido caudal, solo son esperables importantes conos de bombeo en acuíferos poco permeables explotados con pozos de pequeño diámetro o que captan un pequeño espesor saturado (Figura 3).

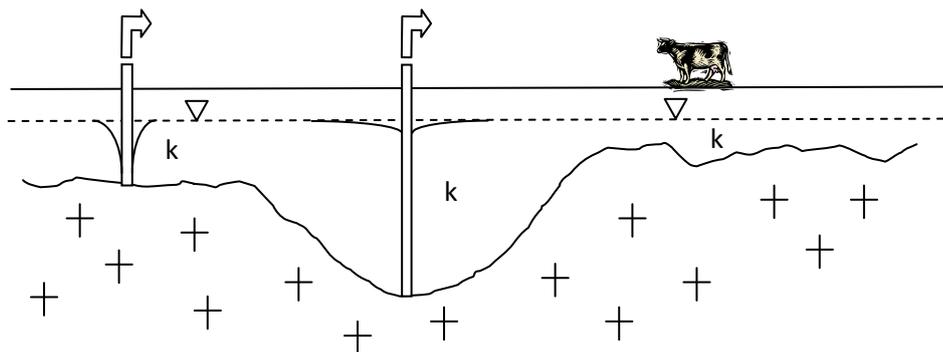


Figura 3. Variación del cono de bombeo, para un mismo caudal, en dos pozos situados en el mismo acuífero pero que captan diferente espesor saturado. K = permeabilidad.

- La calidad constructiva del pozo. En los pozos se producen descensos adicionales a los teóricos debido a pérdidas de carga por el paso del agua a través de las rejillas del pozo, al movimiento ascensional desde la rejilla hasta la aspiración de la bomba, y por el movimiento de entrada del agua en la bomba. El descenso teórico siempre es una función lineal del caudal y depende de las características del acuífero para un caudal de

bombeo y un tiempo dados. Y el descenso adicional que provocan las pérdidas de carga por rozamiento en la estructura del pozo son una función potencial del caudal.

A la hora de elegir la bomba más apropiada en un sondeo o pozo debemos tener en cuenta todos estos factores considerando el régimen de uso más adecuado para que el rendimiento del sondeo-bomba sea el más efectivo. Un pozo con una eficiencia reducida significa que se provocarán en él descensos muy superiores al teórico para un caudal determinado de manera que se incrementará el valor de la elevación del bombeo con un aumento del coste energético que se traduce en reducción del caudal. La manera de reducir las pérdidas de carga debido al rozamiento en los elementos del pozo es realizando un buen diseño y construyéndolo con los materiales más adecuados. La única manera de saber si un pozo está bien construido es realizando una prueba de bombeo escalonado, a partir de la cual se puede determinar el valor del descenso provocado por las pérdidas de carga para cada caudal. Para una bomba manual también es importante.

4. La exploración hidrogeológica en acuíferos superficiales en casos de abastecimiento con pozos y bombeo manual.

La prospección hidrogeológica en caso de que se instalen en los pozos bombas manuales, tiene determinadas características diferenciadoras, especialmente en acuíferos de escasa profundidad (hasta 50 metros de espesor) como los derivados de la alteración de rocas ígneas o los depósitos aluviales o los de piedemonte. En general en acuíferos homogéneos y extensos, como las grandes cuencas sedimentarias, la exploración hidrogeológica no varía sustancialmente según la tecnología de elevación final (MacDonald y Calow, 2009), pero, efectivamente, en acuíferos pequeños y de escaso espesor, sí.

Son numerosos los autores que defienden que si se instalan bombas manuales en los pozos, bastaría con la opinión de un experto (Wurcel, 2001, MacDonald et al 2008). Si existe un sedimento claramente cartografiado o un importante manto de alteración superficial, lo que puede deducirse a través de elementos morfológicos en superficie (la morfología del terreno, los suelos, la vegetación y los afloramientos rocosos son signos que informan a priori sobre la existencia de un mayor o menor proceso de alteración del sustrato), y además en la región llueve anualmente un mínimo de 800 mm (Wright, 1992), es relativamente fácil “acertar”, ya que se busca alcanzar un caudal bastante pequeño (0.25 l/s es suficiente para una bomba manual). Hay que subrayar que los depósitos aluviales y los de ladera son muy heterogéneos lateralmente lo que hace que sea más fácil enfrentarse a la exploración “experta” de los productos de alteración *in situ*.

A medida que la lluvia se hace más escasa o si buscamos mayor caudal (para la instalación de una bomba eléctrica de 1 l/s, por ejemplo) es más difícil dar con los lugares adecuados ya que los pozos se deben situar en los puntos de mayor transmisividad que constituyen zonas restringidas debido a la elevada heterogeneidad del sustrato. Se tiende a buscar el punto donde mayor depósito de material permeable se acumula, en función de las irregularidades del contacto de su base con el material que lo sostiene; en estos casos, aunque se encarece la perforación, se justifica el uso de las técnicas geofísicas.

No debemos olvidar en cualquier caso que un pozo con bomba manual funcionará mejor en estas zonas con mayores transmisividades y si las condiciones económicas de la población mejoran con el tiempo se podría en él instalar una bomba de mayor caudal.

En las situaciones necesarias, las técnicas de resistividad eléctrica son a priori suficientes debido al contraste de resistividades entre el sustrato fresco y el alterado o fracturado o entre el detrítico y el material subyacente. La tomografía eléctrica 2D y 3D ofrece excelentes imágenes de un sector determinado a partir de una gran cantidad de valores pero se necesita personal cualificado y equipos complejos y no resulta por tanto rentable ni eficiente en contextos de desarrollo. La resistividad 1D es una técnica económica y de fácil aplicación e interpretación y todavía hoy es el método más usado para abastecimiento rural en África e India.

5. El caso de los acuíferos por alteración del sustrato cristalino en el África Subsahariana

Gran parte del África Subsahariana está ocupada por rocas cristalinas (Fig. 4) sobre las que se generan acuíferos por alteración de importancia indiscutible para el abastecimiento de la población rural dispersa del continente. Son acuíferos pobres, con transmisividades inferiores a $1 \text{ m}^2/\text{día}$; son en cualquier caso sencillos desde el punto de vista del flujo ya que éste se concentra en la zona de la alteración más próxima al sustrato no alterado (Chilton y Foster, 1995). Son acuíferos además, de escasa profundidad. Por estas razones los hemos elegido para realizar un pequeño ejercicio de selección de la bomba manual más adecuada en dos regiones del África Subsahariana.

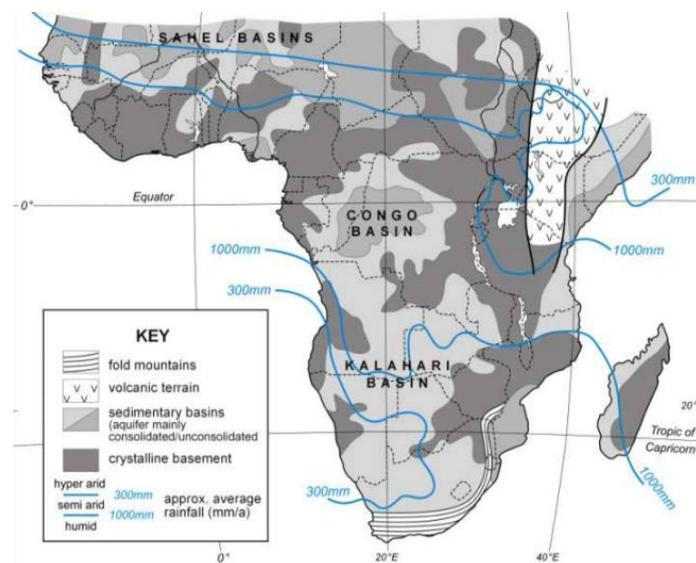


Figura 4. Esquema hidrogeológico del África Subsahariana. Tomado de Foster et al (2006).

La época seca puede provocar descensos naturales muy importantes en las captaciones; depende de su duración y de la posición del nivel piezométrico al principio de dicha época. ACF (2005) expone unos rangos de oscilaciones piezométricas en pozos en la zona Sur del Sahel para lluvias anuales superiores a los 1000 mm (ver Figura 4) que hemos comparado con nuestras propias medidas en acuíferos semejantes localizados en la región central de Angola (provincia de Caimbambo). El régimen de lluvias en Caimbambo es comparable con el registrado en gran parte del Sur del Sahel.

La oscilación piezométrica registrada en Caimbambo (Angola) es algo superior a la que marca ACF (2005) para las mismas posiciones iniciales del nivel piezométrico (Martín-Loeches y Rebollo, 2010). Este hecho es uno más que los muchos que subrayan la necesidad de conocer cada área y cada acuífero individualmente antes de tomar decisiones. No se debe entender lo que aquí se expresa como un caso generalizable a todo el continente con las mismas características climáticas y geológicas. Se trata simplemente de un ejercicio de aproximación.

En la figura 5 mostramos algunos casos de ejemplo en las áreas que acabamos de describir -el Sur del Sahel y Angola- en donde se observan las variaciones piezométricas en pozos perforados ubicados en posiciones intermedias de una zona de alteración (equivalente a la zona central de la figura 1). Además hemos sumado el descenso provocado por la extracción de agua; hemos de recordar que en acuíferos como estos, donde la transmisividad es muy pobre, los descensos por el bombeo de una bomba manual pueden ser importantes. ACF (2005) muestra el ejemplo de un descenso de 5 metros tras 6 meses de uso, periodo equivalente a la época seca, de una bomba manual 8 horas diarias. Nosotros, en el dibujo de la figura 5 mostramos un descenso piezométrico más conservador, de 3 metros. No se tienen en cuenta los descensos provocados por una mala construcción del pozo.

Se observa que en situaciones en las que el nivel piezométrico al principio de la época seca se encuentra entre 5 y 7 metros, en el Sahel no se pueden instalar bombas de succión y nos encontraríamos en el límite para que una bomba de acción directa pudiera operar convenientemente. Y en el caso de la región de Caimbambo, en condiciones iniciales semejantes sólo se pueden instalar bombas de émbolo con cilindro sumergido (tipo Afridev o Indias), ya que el descenso natural es mayor.

Mientras más profundo sea el nivel piezométrico al principio de la época seca, menos oscilaciones naturales sufrirá y mientras más próximo se encuentre el pozo a la zona de descarga del acuífero (río o arroyo, aunque se encuentre seco), más próximo a la superficie se encontrará el nivel y menos vulnerable será a sufrir importantes descensos naturales. Es por ello que los ejemplos de la figura 5, como hemos señalado, corresponden a una zona intermedia de una zona de alteración (entre su área más alta y su zona de descarga).

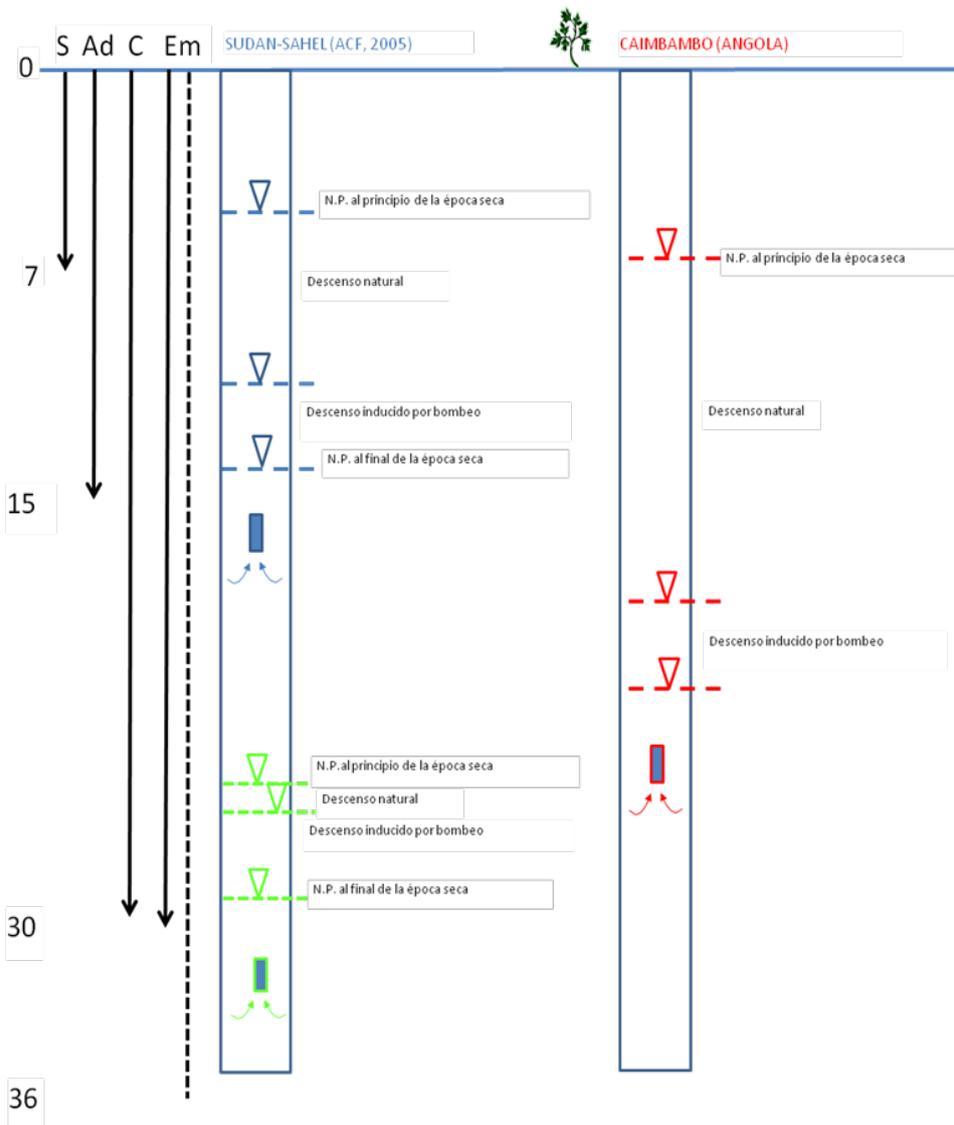


Figura 5. Variaciones del nivel piezométrico en perforaciones en acuíferos de alteración sobre sustrato cristalino en zonas equivalentes en el Sudán-Sahel (en azul; según ACF, 2005) y en Caimbambo (Angola) (en rojo). Los niveles marcados en verde muestran que a mayor profundidad inicial menor oscilación natural del nivel. Se marca la posición del cilindro de una bomba de émbolo con un rectángulo. S= Succión. Ad = Acción directa. C = Cuerda. Em = Émbolo.

Debemos indicar igualmente que en estos casos se toma al pozo perforado como ejemplo, con una capacidad de almacenamiento de agua muy limitada; sin embargo se observa que los pozos anchos excavados a mano, deberían ser notablemente profundos (más de 15 m) para abastecer de agua durante todo el año en cualquiera de las situaciones.

6. Conclusiones

Son muchos los factores que influyen en la posición del nivel del agua en un pozo y en la manera en que dicho nivel se comportará con el bombeo.

Es muy difícil hacer predicciones y se debe investigar caso por caso antes de tomar una decisión.

La bomba más apropiada a cada pozo se debe elegir a partir de datos procedentes del aforo del pozo (pruebas de bombeo específicas) y del conocimiento de las características hidrogeológicas del acuífero y climáticas de la región. Se debería además contar con información relativa a las oscilaciones piezométricas naturales, que pueden ser muy distintas en acuíferos muy semejantes. Si no se cuenta con esa información, los pozos deben perforarse al final de la época seca.

Las bombas manuales provocan descensos pequeños pero en acuíferos pobres (reducida transmisividad) pueden ser importantes. Se debe tener en cuenta este factor, además del resto de los enumerados, para calibrar el potencial de un modelo u otro de bomba.

La conclusión más evidente se concreta en el hecho de que mientras mayor información se tenga más posibilidades existen de acertar con la elección de la bomba. Lo contrario se traduce en un aumento del riesgo de operar más allá de la capacidad normal de la bomba, un incremento del esfuerzo del usuario, y una reducción de la durabilidad de las infraestructuras.

Referencias

Skat (2008) Report on the SKAT handpump assessment for identifying a national handpump standard for Angola and finding possibilities of local production of spare parts. Informe interno Skat.

ACF (2005) Water, sanitation and hygiene for population at risk. Hermann, 2005.

Bauman, E. (2000) Water lifting. SKAT.

Foster, S., Tuinhof, A. y Garduño, H. (2006) Groundwater Development in Sub-Saharan Africa. A Strategic Overview of Key Issues and Major Needs. Sustainable Groundwater Management. Lessons from Practice 2006.

Bonsor, H.C.; MacDonald, A.M. (2011) An initial estimate of depth to groundwater across Africa. British Geological Survey, 26pp. (OR/11/067). Disponible en web: <<http://nora.nerc.ac.uk/17907/1/OR11067.pdf>>.

MacDonald, A. y Calow, R.C. (2009) Developing groundwater for secure rural water supplies in Africa. *Desalinization* 248 (2009) 546-556.

MacDonald, A., Davies, J., Calow, R. y Chilton, J. (2008) *Developing Groundwater*. Practical Action Publishing.

Wurcel, P., (2001) Drilling boreholes for handpumps. Skat. RWSN. Disponible en web: <<http://www.rural-water-supply.net/en/resources/details/148>>.

Wright, E.P. (1992) The hydrogeology of crystalline basement aquifers in Africa. *Geological Society Special Publication* No 66, pp 1-27.

Chilton, P.J. y Foster, S. (1995). Hydrogeological characterization and water-supply potential in basement aquifers in tropical Africa. *Hydrogeology Journal*, V. 3. No.1.

Martín-Loeches, M., y Rebollo, L., (2010) Evaluación de la sostenibilidad y del impacto sobre las personas y el medio ambiente de las primeras 12 infraestructuras para el abastecimiento de agua realizadas por la CRE en Caimbambo (Angola). Cruz Roja Española. Informe Interno.