



Junta de Comunidades de  
La Mancha  
Castilla  
Consejería de Obras Públicas

ESTUDIO DE CARACTERIZACION GEOLOGICA E  
HIDROGEOLOGICA DEL AREA AFECTANTE AL SONDEO  
SURGENTE DE GRANÁ TULADE CALATRAVA (CIUDAD REAL)

CONCLUSIONES  
Enero de 2001

CONCLUSIONES DEL PRIMER ESTUDIO SOBRE EL  
SONDEO SURGENTE DE GRANÁTULA DE CALATRAVA.  
(CIUDAD REAL)



### ¿PORQUÉ SE HA PRODUCIDO EL FENÓMENO DEL POZO SURGENTE?

El fenómeno se ha debido a la combinación de una serie de factores:

Existencia, en profundidad, de un acuífero detrítico cuyas aguas se encontraban sobresaturadas en gas.

Perforación de un sondeo que ha alcanzado dicho acuífero.

**Bombeo desde** el sondeo hasta producir un descenso piezométrico tal que ha provocado la descompresión del contenido del acuífero (agua y gas) y la liberación súbita del gas sobresaturado en forma de burbujas, dentro o en las inmediaciones de la entubación.

Tras el proceso de liberación de burbujas dentro de la perforación, la presión que ejerce sobre el acuífero el volumen de gas y de agua contenida en la misma es bastante menor que la correspondiente a la columna de agua previa al bombeo, por lo que se produce la expulsión del gas y del agua al exterior.

Una vez comenzado el proceso de expulsión de gas y de agua, el propio mecanismo de expulsión se retroalimenta, sin ser ya necesaria la continuidad del bombeo inicial.

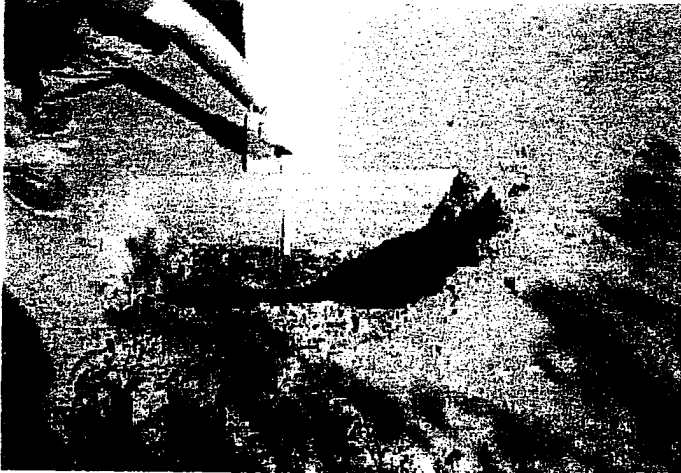


### ¿PORQUÉ SE HA PRODUCIDO EN ESE PUNTO Y NO EN OTRO? ¿PUEDE REPETIRSE EL FENÓMENO?

Únicamente se ha producido en el sondeo surgente porque la mayor parte de las perforaciones de la zona no alcanzan el nivel profundo del acuífero. Aunque en las inmediaciones del sondeo surgente existe, al menos, otra perforación (sondeo de Aquilino, 3/1011) de similar profundidad, que debe alcanzar el acuífero en parecidas condiciones, no ha manifestado tal comportamiento, probablemente, al no haber sido bombeado con tanta intensidad.

Evidentemente el fenómeno podría reproducirse en el mismo sondeo o en otro, siempre y cuando se cumplan las condiciones de profundidad alcanzada, existencia de acuífero sobresaturado en gas y caudal de extracción suficiente.

En el caso del sondeo anteriormente citado (sondeo de Aquilino, 311011) se tiene constancia de que durante el ensayo de bombeo que se efectuó a continuación de su construcción (año 1997), se registraron ascensos importantes de nivel (en vez de los descensos lógicos en estas circunstancias), aunque sin que llegara a producirse la surgencia.



### ¿QUÉ HA ARROJADO EL SONDEO? ¿EN QUÉ CANTIDADES?

El sondeo surgente ha expulsado agua, elementos sólidos y gas.

El caudal de agua que ha surgido del sondeo se ha mantenido relativamente constante durante el periodo controlado (septiembre - diciembre de 2000), entre los 60 y los 75 lts, teniendo conocimiento de que ha continuado activo, con similar caudal, hasta el día 17 de enero de 2001 (en total, 176 días).

El volumen total de agua expulsada en estos prácticamente seis meses de funcionamiento se estima en 1 hm<sup>3</sup>.

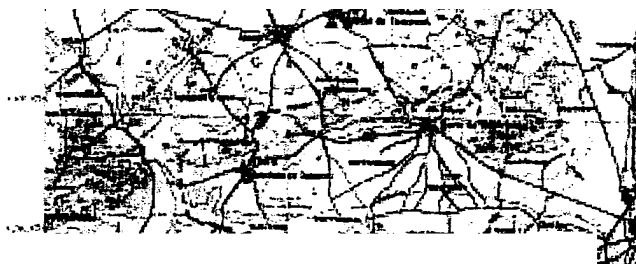
Los elementos sólidos expulsados por el sondeo correspondieron básicamente a arenas con limos y arcillas. Además, ocasionalmente, se expulsaron cantos de tamaño centimétrico.

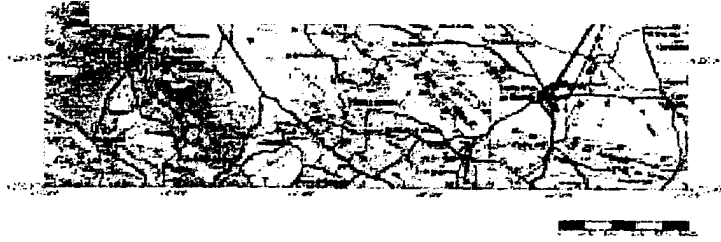
Durante los tres primeros meses, en los que la surgencia se producía sin impedimentos, estos sedimentos se depositaron en torno al sondeo en un área próxima a los 0.25 km<sup>2</sup> (25 ha).

Dentro de esta superficie, los depósitos de arena se concentraban, lógicamente, en un área central de aproximadamente 10 ha de extensión, alcanzando un espesor máximo de 40 cm y medio de 20 cm, lo cual supone un volumen de sólidos acumulados del orden de 20.000 M<sup>3</sup>.

Teniendo en cuenta que las muestras de agua del sondeo contenían hasta un 5% de elementos sólidos, se puede estimar que el volumen total de sólidos expulsados durante los seis meses ha podido ser del orden de 50.000 m<sup>3</sup>, de los cuales una parte significativa ha sido arrastrado por los cauces superficiales.

El gas expulsado por el sondeo estaba constituido fundamentalmente por dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).





## ¿DE DONDE PROCEDE EL AGUA DE LA SURGENCIA?

La magnitud del caudal de agua expulsado por el sondeo (60-75 i/s) es inusual dentro del área de estudio, en la que los caudales de bombeo son generalmente inferiores a 10 i/s.

Como se ha indicado anteriormente, durante los casi seis meses de funcionamiento, el volumen de agua expulsado ha sido del orden de 1 hm<sup>3</sup>. Teniendo en cuenta que los recursos hídricos anuales, tanto subterráneos como superficiales, de la totalidad de la cuenca de Granátula - Moral son del orden de 11 hm<sup>3</sup> para un total de 258 km<sup>2</sup> y que el área de recarga del sondeo puede ser del orden de 15 km<sup>2</sup>, en el mejor de los casos los recursos anuales renovables relacionados con el sondeo serían de únicamente 0.6 hm<sup>3</sup>.

Comparando esta cifra con el volumen de agua expulsado el sondeo, es lógico pensar que la mayor parte del mismo ha procedido de las reservas del acuífero.



## ¿DE DONDE PROCEDE EL GAS DE LA SURGENCIA?

Los flujos apreciables de CO<sub>2</sub> procedentes del subsuelo en los diferentes dominios geológicos del planeta donde aparecen, pueden tener tres orígenes: volcánico, orgánico y descarbonatación de sedimentos carbonatados. El contexto geológico donde se presentan esos flujos es determinante para establecer las causas primeras de su procedencia. Por esa razón, los estudios geológicos (cartográficos, estructurales, estratigráficos, petrológicos y vulcanológicos), análisis geoquímicos e isotópicos y prospección geofísica, son necesarios para determinar uno u otro origen.

En todos los casos, la ascensión vertical del CO<sub>2</sub> desde sus lugares de origen, se hace a través de la red de fracturación (fallas y fisuras) del sustrato local.

En el caso del alto flujo de CO<sub>2</sub> presente en el sondeo surgente de Granátula, todos **los datos geológicos conocidos** indican que el origen es volcánico. La ausencia de materia orgánica y sedimentos carbonatados en el subsuelo en el área de la surgencia (conocido por los datos geofísicos, y por los sondeos mecánicos realizados en las campañas mineras de los años 80) excluyen los orígenes orgánicos y de descarbonatación para la procedencia del gas. Por el contrario, los argumentos que relacionan directamente el origen del gas con las manifestaciones volcánicas son varios y comprobados, a saber:

Las áreas de flujo de CO<sub>2</sub> en la provincia de Ciudad Real se encuentran todas dentro de la superficie que ocupan los afloramientos volcánicos de la región, siendo coincidentes los límites de ambas.

La presencia de las anomalías de CO<sub>2</sub> en la Cuenca de Granátula-Moral se concentran en el borde norte de la cuenca, dentro de una banda alargada N750E, coincidente con la alineación volcánica más reciente de la zona. Igualmente, esa banda coincide con el pasillo activo de fracturación principal del área. Con ello se demuestra que el gas es la manifestación remanente de es vulcanismo y que asciende a través de fracturas profundas que atraviesan el zócalo paleozoico regional.

La presencia de anomalías en el grado geotérmico de esa alineación volcánica (maar de Granátula-Boca del Campo), respecto al resto de la cuenca neógena, demuestra que aún están activas o semiactivas las anomalías propias de estos fenómenos volcánicos. Por tanto, no es extraño que, acompañando a estas anomalías geotérmicas, permanezcan como remanentes los flujos de gases mantélicos, principalmente el de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)

Todos ellos tiene una causa común: la existencia de unas zonas de emisión de gases de origen volcánico.

En el caso de la cuenca terciaria de Granátula-Moral, el gas (fundamentalmente CO<sub>2</sub>) de origen volcánico ha debido irse acumulando en la franja septentrional de la parte profunda de la cuenca, que constituye un acuífero confinado o semiconfinado. De( mismo modo que los materiales impermeables suprayacentes al acuífero confinado impiden o dificultan la circulación M agua en sentido vertical, han actuado como trampa para el gas. De esta forma, **la porosidad intergranular** de( acuífero se encuentra ocupada por una mezcla de agua y gas, ambos sometidos a presiones parciales superiores a la atmosférica. La presión a que se encuentra sometida el agua (presión hidrostática) será dei orden de 10 atm, equivalentes a una columna de agua de 100 m, que es la altura que alcanza el agua en la perforaciones profundas sobre la cota dei techo M acuífero confinado. En el caso de que la presión parcial dei gas en el acuífero sea menor que esas 10 atm, no existirá en el mismo fase libre de gas (burbujas o bolsa de gas), sino que el agua se encontrará sobresaturado en gas. Este debe ser el caso dei acuífero captado por el sondeo surgente de Granátula, ya que la expulsión de agua y gas no se produjo única y exclusivamente al alcanzar la perforación el acuífero sobresaturado en gas, sino al bombear (y rebajar la presión hidrostática) con posterioridad

La formación de burbujas de gas dentro dei agua subterránea únicamente podrá producirse cuando se reduzca la presión hidrostática del agua hasta igualar la presión parcial de CO<sub>2</sub> en el acuífero. Son varias las formas en que este proceso puede tener lugar:

- Empezarán a ascender hacia la superficie por diferencia de densidad con el agua circundante, dando lugar a hervideros o sondeos con burbujeo.
- En el caso concreto del sondeo surgente de Granátula, la disminución de la presión hidrostática se produjo en el propio acuífero sobresaturado al reducirse la altura de columna de agua en la perforación debido a los sucesivos bombeos a que fue sometido el sondeo. Esta descompresión dei acuífero provocó la súbita formación de un importante volumen de CO<sub>2</sub> libre (en forma de burbujas), que al ascender a través de la entubación puso en marcha un proceso que se retroalimenta a si mismo: existencia, dentro de la perforación, de una columna de agua, gas y sólidos cuyo peso no compensa la presión a que están sometidos el agua y el gas contenidos en un acuífero confinado.

### **¿SE PODÍA PREVER LA DURACIÓN DEL FENÓMENO? ¿A QUÉ SE HA DEBIDO LA FINALIZACIÓN DEL MISMO?**

Con la información disponible de que se dispuso, era difícil prever la duración del fenómeno. Los factores que, en condiciones normales, tendrían una influencia fundamental en el mantenimiento dei fenómeno serían la continuidad en el suministro de agua por parte dei acuífero y el mantenimiento de la sobrepresión de gas en relación con el peso de columna de agua, gas y sólidos existente en cada momento dentro de la perforación. Puesto que la mayor parte dei caudal de agua arrojado por el sondeo proviene de las reservas dei acuífero, el desconocimiento, hasta el momento, de la geometría detallada y de los parámetros hidráulicos de almacenamiento que caracterizan el acuífero que aporta el agua impiden establecer el volumen de las reservas hídricas disponibles. Por lo que respecta al gas contenido en el acuífero, se desconoce el caudal y la presión a la que los procesos volcánicos están introduciendo el gas en el acuífero. Además, se desconoce el volumen de gas que puede haber almacenado en el acuífero, tras decenas de miles de años de acumulación.

Aparte de los dos factores anteriormente mencionados, había que tener en cuenta que un hipotético colapso de la perforación o del terreno circundante podía provocar la finalización del fenómeno, al menos con las características que tenía en su momento.

Por tanto, a falta de nueva información que se recabará posteriormente, las causas del cese de la surgencia pueden ser las siguientes:

1. Disminución de la sobrepresión de gas con relación al peso de la columna de agua, gas y sólidos existente, en un momento dado, dentro de la perforación. Este hecho puede ser debido al ascenso del nivel freático en el acuífero tras las importantes precipitaciones producidas en las últimas semanas, o bien, a la disminución de la presión de gas en el acuífero tras casi seis meses de expulsión.
2. Colapso súbito del terreno circundante a la perforación en profundidad, como resultado de la compactación del terreno.

Es posible que el hecho, en realidad, haya sido la consecuencia de una combinación de estos factores.



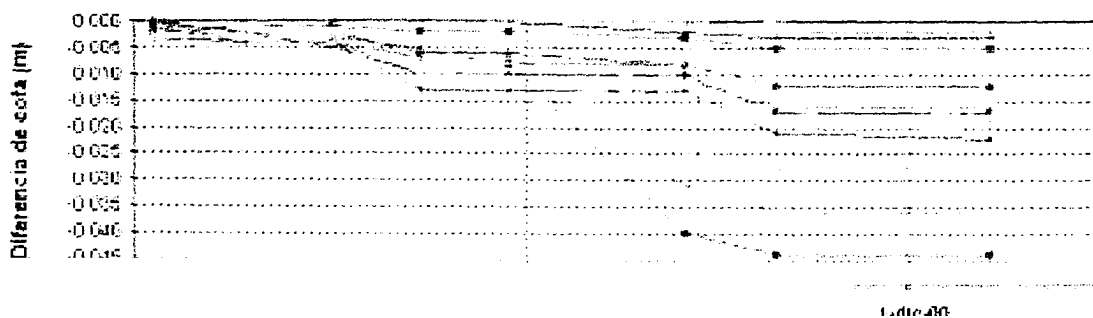
### **¿EXISTE LA POSIBILIDAD DE QUE SE PRODUZCAN HUNDIMIENTOS EN LAS PROXIMIDADES DEL SONDEO?**

Estos hundimientos ya se han producido, aunque por el momento han sido de escasa entidad y progresivos.

Durante el periodo en que se ha controlado la subsidencia del terreno (22/9/2000 – 7/12/2000), se ha producido un progresivo hundimiento del terreno en las inmediaciones del pozo, hasta una distancia máxima comprobada de unos 185 m al NNO del sondeo.

La magnitud de la subsidencia detectada es pequeña en valores absolutos (valor máximo = 44 mm), aunque en el caso de que en las inmediaciones del sondeo existieran construcciones de una cierta entidad, hubiera tenido ya reflejo en la aparición de grietas y otros desperfectos estructurales que, eventualmente, pudieran afectar a la seguridad de personas y bienes.

Esta subsidencia se ha desarrollado en un periodo de tiempo muy corto, dando como resultado una velocidad de subsidencia que puede calificarse como muy rápida. Esta velocidad no se mantiene constante en el tiempo: a periodos de una cierta estabilidad o ralentización les han seguido bruscas aceleraciones en el movimiento.



La extensión superficial de los descensos se distribuye alrededor de dos máximos situados unos 50 m al O y S del sondeo surgente. La destrucción de los hitos de nivelación más próximos al pozo (por las obras y actividades que han tenido lugar en sus cercanías) impide conocer con exactitud el comportamiento de la zona inmediata al sondeo.

Las causas de la subsidencia del terreno alrededor del sondeo surgente de Granátula son varias:

- Disminución de la presión hidrostática en profundidad debida a la extracción de agua.
- Arrastre y expulsión de materiales finos en la porción profunda del acuífero que debe aportar la mayor parte del caudal, con la correspondiente reducción de la carga portante de ( mismo y su subsiguiente compactación
- Sobrepeso impuesto al terreno debido a la acumulación, en las inmediaciones del sondeo, de los materiales arrojados por el mismo.
- Reducción en la presión de los gases (fundamentalmente  $CO_2$ ) presentes en el acuífero, por expulsión de los mismos al exterior. Esta reducción de la presión de los gases tendrá el mismo efecto que la reducción de la presión hidrostática en profundidad.



Todos estos procesos están teniendo lugar a una profundidad considerable ( $> 100$  m) y bajo unos materiales granulares de comportamiento plástico y elevada cohesión, lo que favorece que el reflejo en superficie de la compactación del acuífero profunda no haya tenido, hasta el momento, carácter repentino ni catastrófico. Con los datos disponibles es imposible asegurar que un hundimiento de este tipo no se vaya a producir, ni determinar su magnitud previsible, pero como medida cautelar se sigue considerando necesario establecer el perímetro de protección alrededor del sondeo.

## ¿QUE MEDIDAS DEBERÍAN ADOPTARSE EN OTROS SONDEOS PARA EVITAR EL MISMO FENÓMENO



Debería evitar bombearse los sondeos profundos (mayores, en principio, de 100 m) que se encuentran situados dentro de la zona de emisión de gases de la cuenca de Granátula-Moral (franja N) y que, por lo general, presentan burbujeo en su interior. En el resto de sondeos de esa zona debería procurarse que los descensos de nivel producidos por el bombeo no fueran excesivos.

Lógicamente, no deberían perforarse nuevos sondeos que alcancen el acuífero profundo en la franja de emisión de gases, puesto que su funcionamiento se verá totalmente condicionado por la presencia del gas.



## ¿SE PUEDE CONSIDERAR LA CUENCA DEL JABALÓN ENTRE MORAL Y GRANÁTULA DE CALATRAVA UN ACUÍFERO O UNIDAD HIDROGEOLÓGICA?

La cuenca terciaria de Granátula-Moral de Calatrava no ha sido considerada como una Unidad Hidrogeológica (U.H.) en ninguno de los estudios de delimitación de Unidades Hidrogeológicas (UU.HH.) efectuados hasta la fecha, ni en el Plan Hidrológico de la Guadiana. Toda esta región se enmarcaba dentro de la denominada "Zona sin acuíferos o con acuíferos de interés local".

A la vista de los resultados del estudio preliminar efectuado, puede llegarse a la conclusión de que la cuenca terciaria de Granátula - Moral de Calatrava tiene entidad suficiente para ser considerada una unidad hidrogeológica, atendiendo a los siguientes motivos:

Presenta un funcionamiento hidrogeológico propio e independizado del resto de zonas limítrofes, dentro del cual se contempla la generación de la práctica totalidad del recurso hídrico y su utilización.

Piezometría para profundidades comprendidas entre 40 y 100 m (septiembre-octubre 2000)

La magnitud de los recursos subterráneos renovables (del orden de los 6 hm<sup>3</sup>) y de las previsibles reservas (sin cuantificar aún) del acuífero.

La importancia de la utilización de las aguas subterráneas, tanto en valores absolutos como en relación con los recursos del acuífero.

La existencia de una importante demanda hídrica, sobre todo para riego, cuya satisfacción únicamente es posible mediante la explotación de las aguas subterráneas.



Las peculiaridades hidrogeológicas que acarrea la emisión de gases de origen volcánico bajo un acuífero hacen necesario el establecimiento de unas limitaciones y una ordenación en la explotación de las aguas subterráneas, de forma que se evite la posibilidad de obtener resultados no buscados o de poner en peligro la integridad de personas y bienes propios o ajenos.

## **¿A QUIÉN CORRESPONDERÍA LA GESTIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÁNEOS EXISTENTES EN LA ZONA?**

En virtud de la Ley de Aguas vigente (agosto de 1985), la gestión de los recursos hídricos, tanto superficiales como subterráneos, de la cuenca de Granátula - Moral de Calatrava corresponde a la Confederación Hidrográfica del Guadiana, independientemente de que exista o no para misma la consideración de Unidad Hidrogeológica.

No obstante, y si finalmente se define en la zona una nueva Unidad Hidrogeológica, la Junta de Comunidades de Castilla - La Mancha podría promover la creación de una Comunidad de Usuarios del acuífero de forma que fuesen los mismos beneficiarios quienes gestionasen, con una gran autonomía y el beneplácito de la Confederación, los recursos hídricos subterráneos de la zona. De esta forma se conseguiría, en función de sus propios intereses y de la sostenibilidad del recurso, que los propios usuarios planteasen las estrategias de explotación más beneficiosas para ellos mismos y para el adecuado mantenimiento del bien común del que se aprovechan.

## **¿QUÉ CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS TIENE EL SONDEO SURGENTE?**

Según la única información disponible, facilitada por Agrícola de Bolaños S.A., empresa propietaria de la finca donde se encuentra ubicado el sondeo, éste fue construido por la empresa de perforación de Ángel Ruiz de Bolaños de Calatrava, con una sonda a percusión.

Los diámetros de perforación empleados fueron los siguientes: 500 mm, de 0 a 50 m de profundidad 550 mm, de 50 a 100 m de profundidad 400 mm, de 100 a 142 m de profundidad

La entubación del sondeo se realizó con los siguientes diámetros: 450 mm de diámetro entre 0 y 50 m de profundidad (tubería de hierro sin ranurar) 400 mm de diámetro entre 0 y 100 m de profundidad (tubería de hierro sin ranurar) 350 mm de diámetro entre 0 y 142 m de profundidad (tubería de PVC de 10 atm de resistencia, sin ranurar de 0 a 100 m y ranurado de 100 a 142 m de profundidad)

Posteriormente se realizó un empaque de grava sin calibrar en el espacio anular entre los 350 mm de diámetro de la tubería definitiva y los 400 mm de la tubería ciega de 0 a 100 m y los 400 mm de diámetro de la perforación entre los 100 y 142 m de profundidad.

En ningún momento se instaló en este sondeo bomba sumergida, debido a la experiencia obtenida anteriormente con este tipo de bombas en otros sondeos próximos, en los que los arrastres de arenas provocaron averías continuas en dichas instalaciones.

Por esta causa, el sondeo surgente fue explotado, desde su puesta en funcionamiento, mediante la introducción de aire comprimido con una manguera exterior a una tubería de impulsión de 3 pulgadas de diámetro hasta una campana instalada a 78 m de profundidad. Con este dispositivo de extracción se obtuvo un caudal próximo a los 15 l/s entre los meses de marzo y julio de 2000.

Una vez que la violencia de la surgencia arrojó al exterior del sondeo el dispositivo de extracción, la capacidad erosiva de la mezcla de agua, gas y sólidos expulsados por el sondeo probablemente haya destruido una buena parte de la entubación original del pozo, de la misma forma que la surgencia destruyó el codo que se instaló en su boca para intentar minimizar los daños que producía.



### **¿CUALES FUERON LOS HECHOS PREVIOS A LA APARICIÓN DE LA SURGENCIA?**

Según los propietarios del sondeo, el bombeo mediante aire comprimido comenzó en marzo de 2000, coincidiendo con la primera campaña de riegos para las viñas, utilizándose al efecto un compresor durante vanas horas al día, obteniéndose un caudal de unos 15 i/s. El agua extraída se recogía en la balsa que existe junto al sondeo, de la cual se bombeaba a otra balsa de acumulación que hay en la finca.

El 25 de julio de 2000 comenzó a producirse la surgencia propiamente dicha, al expulsar el sondeo agua con notable presión mezclada con arena y gases tanto por la tubería de impulsión como por el anular, sin necesidad ya de que se siguiese introduciendo aire comprimido. Ante esta circunstancia los propietarios amontonaron piedras sobre el emboquille para intentar impedir la salida desbordada de agua, brotando ésta, en cualquier caso, entre las piedras. Esta situación se mantuvo hasta el 12 de agosto, día en el cual aumentó la presión del agua, terminando por apartar las piedras y expulsando toda la tubería de impulsión al exterior. En este momento comenzó la expectación pública, a causa de la espectacularidad del chorro de agua, gas y arena que llegó a alcanzar una altura máxima de unos 60 metros.



### **¿QUÉ CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS TIENE EL AGUA DEL SONDEO SURGENTE YA QUÉ USOS PUEDE DESTINARSE?**

Se han analizado 7 muestras de agua procedentes dei sondeo a lo largo M presente estudio. Además se dispone de los resultados analíticos proporcionados por la Confederación Hidrográfica dei Guadiana (3 muestras) y por el Instituto Tecnológico Geominero de España (2 muestras).

A partir de los análisis disponibles, se observa que la composición del agua del sondeo es de carácter bicarbonatado cálcicomagnésico, presentando una gran homogeneidad en lo que respecta a la composición aniónica mayoritaria, si bien se produce una variación catiónica importante a lo largo del periodo de observación (agosto a noviembre de 2000), desde términos cálcicos a magnésicos.

Con respecto a la calidad de las aguas analizadas, los resultados obtenidos indican que no son adecuadas para abastecimiento humano, de acuerdo con la Reglamentación TécnicoSanitaria para el abastecimiento y control de calidad de aguas potables de consumo público (Real Decreto 1138/1990 de 14 de septiembre), puesto que se superan los límites de potabilidad de magnesio, potasio, hierro y manganeso. Sin embargo, la concentración de nitratos no supera los 15 mg/l de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, frente al límite máximo permitido de 50 mg/l.

Parámetro	Concentración máxima permitida (R.D. 1138/1990)	Valor medio en el agua del sondeo 4surgente	Valor máximo en el agua del sondeo surgente
Mg' (mg/l)	SO	108	148
K* (mg/l)	12	15.5	25
Fe (mg/l)	0.2	10.74	57.4
Mn (mg/l)	0.05	2.14	5.08

El R.D. 1138/1990 regula todo lo referido a aguas de abastecimiento, pero excluye de forma explícita las de bebida envasadas, así como las minero-medicinales reconocidas como tales que se regulan por medio de la Reglamentación Técnico-Sanitaria para la elaboración, circulación y comercio de aguas de bebida envasadas (R. D. 2119/1981 de 24 de julio).



La utilización del agua como agua de bebida envasada (minero-medicinal, mineral natural, potable preparada), su declaración de utilidad pública, o su clasificación como agua minero-medicinal requieren estudios específicos, de acuerdo con la legislación vigente (Ley de Minas 2211/1973 de 11 de julio y su reglamento aprobado por Decreto 2857/1978 de 25 de agosto, y R. D. 2119/1981 de 24 de julio).

Por lo que respecta a la aptitud del agua para usos agrícolas, según la clasificación del U.S. Salinity Laboratory Staff (S.A.R.), se trata de aguas con peligro de salinización alto (C3) y de alcalinización bajo (S1). Son aguas altamente salinas, con conductividades comprendidas entre 750 y 2250  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , que corresponden a un total de sólidos disueltos entre 480 y 1440 mg/ aproximadamente. Estas aguas no pueden usarse en suelos de drenaje deficiente. Es preciso elegir plantas muy tolerantes a las sales y con posibilidad de controlar la salinidad del suelo, aún con drenaje adecuado.

Con respecto al peligro de alcalinización del suelo, el agua pertenece a la clase S1, baja en sodio, que puede usarse en la mayor parte de los suelos con escasas posibilidades de alcanzar elevadas concentraciones de sodio intercambiable. Los cultivos sensibles, como los frutales de pipa, pueden acumular cantidades perjudiciales de sodio.



### ¿PRESENTA ALGÚN TIPO DE PELIGRO EL GAS SURGENTE?

La liberación de gases, fundamentalmente de  $\text{CO}_2$ , se ha observado en otras zonas volcánicas (California, Camerún, etc.), en las que ha originado desastres de distinta naturaleza.

Cuando el  $\text{CO}_2$  se libera del suelo, normalmente se mezcla con el aire y se disipa rápidamente. No obstante, el  $\text{CO}_2$  es más pesado que el aire y puede acumularse en altas concentraciones en zonas deprimidas, suponiendo entonces un riesgo potenciado para el hombre y para los animales que frecuentan estas zonas. Respirar aire con más del 30% de  $\text{CO}_2$  (USGS, 1996) puede originar con rapidez un estado de inconsciencia y posterior muerte. Por ello, las zonas poco ventiladas existentes por encima o por debajo de la superficie del terreno pueden ser peligrosas en aquellos lugares donde existe liberación importante de dióxido de carbono.

En el transcurso del estudio se han llevado a cabo análisis de los gases atmosféricos que constituyen el aire que se respira, en zonas relacionadas principalmente con fallas y fracturas, a través de las que se produce un mayor desprendimiento de gases, en zonas deprimidas así como, lógicamente, en la boca del sondeo surgente y otros próximos. En las muestras de gas se han determinado  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2$  y  $\text{N}_2$ .

Las elevadas concentraciones de dióxido de carbono que se han medido en algunas muestras (sondeo de Aquilino, sondeo surgente, Cantano, sondeo 811/2/1009), superan ampliamente los porcentajes del 30 % considerados peligrosos para el hombre. En todas ellas se registran contenidos relativamente bajos de oxígeno (8 a 13% de  $\text{O}_2$ ) y de nitrógeno (31 a 56% de  $\text{N}_2$ ), y en algunas de ellas se detecta metano en cantidades importantes. En estos puntos el riesgo de muerte por asfixia es elevado.

En el resto de las muestras tomadas el  $\text{CO}_2$  se encuentra en concentraciones inferiores al 1 %, con un contenido de nitrógeno del orden del 80% y en torno al 16-17% de oxígeno, y en ninguna de ellas se detectan monóxido de carbono, metano ni hidrógeno.