

Expulsiones violentas de gases magmáticos en el Campo de Calatrava (Ciudad Real, España)

M.E. González Cárdenas^{1,2}, D. Calvo Fernández^{2,3}, R. Becerra Ramírez^{1,2}, E. Escobar Lahoz^{1,2}, R.U. Gosálvez Rey¹, N. Pérez Rodríguez^{2,3}

¹ Departamento de Geografía y Ordenación del Territorio, Universidad de Castilla-La Mancha. A. Camilo José Cela s/n, 13.071 Ciudad Real.

² Científico-colaborador del Instituto Volcanológico de Canarias, INVOLCAN. Parque Taoro 22, 38400 Puerto de la Cruz, S. C. de Tenerife.

³ Instituto Tecnológico y de Energías Renovables, ITER. P. Industrial s/n, Granadilla de Abona, 38600 S.C. de Tenerife.

elena.gonzalez@uclm.es, etneo@iter.es, rafael.becerra@uclm.es, estela.escobar@uclm.es, rafaelu.gosalvez@uclm.es, nperez@iter.es

RESUMEN: El volcanismo del Campo de Calatrava se caracteriza por la abundante presencia de gases, siendo el CO₂ y el vapor de agua los que han jugado un papel relevante en las dinámicas eruptivas. El CO₂ se muestra en la actualidad como un gas presente en el subsuelo y en buena parte de los acuíferos de la región volcánica. Su origen está en los procesos de desgasificación del magma bajo la superficie. El dióxido de carbono aflora a través de fracturas y de la fisuración de las rocas. Cuando intercepta acuíferos da origen a los "hervideros" que son manantiales termales en los que el gas aparece disuelto en el agua. Puede haber una salida difusa de gas que, en condiciones topográficas adecuadas, fuerza la acumulación de CO₂ en pequeñas hondonadas. La concentración puede ser lo suficientemente alta como para producir el sofoco y posterior muerte de animales. Otra forma de aflorar los gases magmáticos ha sido, desde antiguo, la formación de "chorros", denominación popular de eventos extraordinarios de expulsión masiva de CO₂ arrastrando agua y material de la roca que alberga al acuífero. Por su espectacularidad, intensidad y duración, el sondeo surgente generado en Granátula de Calatrava, supone el evento de mayor interés relacionado con la emisión de gases del Campo de Calatrava. Este hecho se inicia el 25 de julio del 2000 y lo largo de 176 días mantuvo una constante salida de gas, agua y material del sustrato rocoso. El día 4 de marzo de 2011, en el extrarradio de Bolaños de Calatrava, sobre un pozo de prospección minera, se inició otra surgencia, impulsada por la salida de grandes cantidades de gas la cual finaliza, de forma espontánea, a los seis días. A las pocas semanas, surgieron dos nuevos chorros, próximos al anterior. El 30 de marzo de 2013, en el límite municipal de Almagro y Bolaños de Calatrava, se vuelve a producir la salida de otras dos surgencias de agua y gas que mantiene el ritmo de expulsión hasta el inicio del año 2014. Las características y evolución de estas salidas masivas de agua y gas, asociadas al volcanismo calatravo han sido objeto de investigación por científicos del INVOLCAN y del Grupo de Investigación GEOVOL de la UCLM y ha permitido cuantificar la composición química y el origen de los gases y las características del sistema hidrotermal del que proceden las emanaciones.

Palabras-clave: surgencia, sistema hidrotermal, volcanismo, Campo de Calatrava.

1. INTRODUCCIÓN

El Campo de Calatrava puede considerarse como una unidad natural situada en la Meseta Meridional, en el centro de la provincia de Ciudad Real. En esta región volcánica, encuadrada dentro del volcanismo intraplaca europeo, han tenido lugar erupciones a lo largo del Mio-Plioceno y del Pleistoceno y Holoceno con una temporalidad marcada por los eventos iniciales (8,6 MA en el Morrón de Villamayor) y la última erupción, datada mediante ¹⁴C, en Columba con una edad de 5.200 BP (González et al. 2007). La naturaleza de los magmas ha determinado un volcanismo de baja explosividad con eventos claramente efusivos en los que se han desarrollado fases estrombolianas. La interacción del magma con agua ajena al sistema volcánico ha desencadenado violentos procesos freáticos y freatomagmáticos. Los magmas del Campo de Calatrava son muy ricos en CO₂. Este gas asciende hasta la superficie en cantidades apreciables que alcanzan un

máximo en La Sima con $324 \text{ kg m}^{-2}\text{d}^{-1}$ (Calvo et al. 2010) lo que unido a la presencia de anomalías térmicas y gravimétricas (Bergamín, 1986) indicaría la presencia de masas magmáticas en proceso de desgasificación y enfriamiento, así como la de fisuras eruptivas “semiactivas” (Rodríguez y Barrera, 2002) en el Campo de Calatrava. A lo largo del mes de septiembre de 2007 en la campaña llevada a cabo por científicos del Instituto Tecnológico y de Energías Renovables (ITER) de Canarias, en el sistema volcánico calatravo, se constató la existencia de una población representativa de emisiones anómalas de gases de origen profundo (Calvo et al. 2010). A raíz de los resultados de estos trabajos y mediante los proyectos: PIII109-0176-3132 y FEDER81 se procedió a la adquisición e instalación, en el paraje de La Sima, de una estación geoquímica para monitoreo en modo continuo de CO_2 y H_2S , principales gases magmáticos emitidos en el Campo de Calatrava.

Desde el punto de vista hidrológico el Campo de Calatrava es una región compleja. En los manantiales termales conocidos como “hervideros”, aparecen altas mineralizaciones, gases disueltos y temperaturas más elevadas que las medias normales (Benito y Pulido, 2010). Así mismo, algunos edificios volcánicos mantienen acuíferos locales lo que sin duda influye en la generación de estos eventos de salida masiva de gas con arrastres de agua y sedimentos.

2. ÁREA DE ESTUDIO Y METODOLOGÍA

El área de trabajo viene condicionada por el espacio en el que se han dado las emisiones extraordinarias de gas, naturales o inducidos, desarrolladas en el Campo de Calatrava. Las surgencias se han desarrollado, en su etapa reciente, dentro del ámbito de las cuencas de Granátula de Calatrava y Almagro-Bolaños de Calatrava (Figura 1). La metodología empleada también ha estado condicionada por la naturaleza del objeto de trabajo. Así se ha llevado a cabo un seguimiento del proceso en el campo con: recogida de muestras de agua para su análisis, medición y naturaleza de gases emitidos, evaluación de zonas inundadas y caudales totales evacuados por la surgencia, características, potencias y extensión alcanzadas por los sedimentos expulsados, determinación y evaluación de riesgos potenciales para la población del entorno y para las propiedades e infraestructuras de las áreas afectadas. Por otra parte, se ha procedido al trabajo de laboratorio con: cartografía de las zonas afectadas, análisis para determinar las características de las aguas y la naturaleza de los gases emitidos. Cuando resultaba posible se procedió al análisis sedimentológico del material terreo emitido.

2.1. Cuenca de Granátula de Calatrava

La cuenca neógena de Granátula-Moral de Calatrava se localiza en el valle medio del río Jabalón que la cruza de este a oeste. Forma parte de un amplio sinclinorio que sirve de enlace entre los relieves occidentales del zócalo hercínico y la altiplanicie del Campo de Montiel. Tiene 20 km de longitud entre las sierras de Moral al este y la de Granátula-Valenzuela al oeste y 6 km de anchura. Su relleno sedimentario está formado por arenas, arcillas, limos y gravas, así como por volcanitas interestratificadas. La potencia que alcanzan es de 200 m asentados sobre materiales ordovícicos formados por areniscas y pizarras (Rodríguez y Barrera, 2002). En esta cuenca se han abierto fisuras eruptivas sobre las que se han desarrollado los edificios volcánicos de la zona. La surgencia de julio de 2000 se produjo sobre una de estas fisuras, la que recorre la totalidad del borde norte de la cuenca entre Granátula y Moral de Calatrava. En ella se han localizado (EPTISA, 2001) anomalías gaseosas, geotérmicas y gravimétricas que se asocian a una importante acumulación de gas en el fondo de la cuenca, aportado por desgasificación profunda de masas magmáticas, que asciende a través de las fracturas del zócalo (Rodríguez y Barrera, 2002).

2.2. Cuenca de Almagro-Bolaños

El domo de Almagro-Bolaños forma una cuenca de erosión limitada por las sierras que forman los flancos del anticlinal y que litológicamente pertenecen a la base del Ordovícico que afloran por encima de los materiales del relleno de la cuenca, en cuyo fondo está presente el precámbrico como se ha constatado mediante sondeos y por los líticos integrados en los depósitos de flujos piroclásticos desarrollados en erupciones hidromagmáticas. La cuenca constituye una depresión de aproximadamente 15 km de extensión y 5 km de anchura, rellena de sedimentos de edad comprendida entre el Plioceno superior y el Holoceno. La sedimentación inicial está formada por abanicos aluviales que pasan lateralmente a facies lacustres. Sobre ellos se depositan fangos, arenas y margas yesíferas, puntualmente yesos, calizas y margas con depósitos de piroclastos de caída y de flujo intercalados. Son comunes los niveles carbonatados y las formaciones de caliche

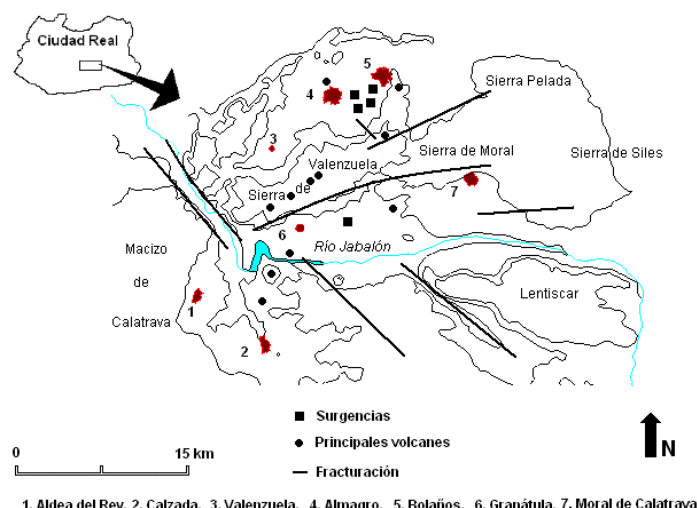


Figura 1. Cuencas de Almagro-Bolaños y Moral-Granátula de Calatrava.

3. RESULTADOS

Los procesos de salida masiva de gases, de forma natural o inducida, son un suceso relativamente habitual en el Campo de Calatrava. En crónicas de comienzos del siglo XVI hemos encontrado descripciones que relatan situaciones similares a las que analizamos aquí. Así en el “Libro de grandezas y cosas memorables de España” se recoge el siguiente párrafo: “*En el año del Señor de mil quinientos y ocho gran parte de ella (Ciudad Real) fue anegada con agua que vino por debaxo de la tierra desde el río Guadiana... en que se hundieron más de trescientas casas que son a un lado de la ciudad entrando por la puerta de Alarcos*”. Es evidente que no puede producirse una inundación que llegase desde el río Guadiana hasta Ciudad Real “por debajo de la tierra” por ello deducimos que este suceso debe corresponderse con el desarrollo de una surgencia espontánea, similar a las que han tenido lugar a lo largo del siglo XX y XXI y que están adecuadamente documentadas e investigadas. La salida masiva y puntual de gases magmáticos, agua y eventualmente materiales del sustrato, es un hecho constatable en el sector oriental del Campo de Calatrava. En parajes como Los Cabezos y El Rosario se han repetido estas surgencias principalmente a lo largo de la segunda mitad del siglo XX. No va a ser hasta la generación del fenómeno en el llamado técnicamente “sondeo surgente” en el paraje de Añavete, conocido popularmente como “chorro” de Granátula cuando, gracias a la difusión en prensa a nivel internacional, estas surgencias sean tenidas en cuenta y estudiadas desde un punto de vista científico.

3.1. El sondeo surgente de Granátula de Calatrava. Julio 2000

El rompimiento del sondeo surgente comienza el 25 de julio del año 2000, en una finca particular situada en el paraje de Añavete como consecuencia de la perforación para aumento de caudales de un sondeo ya existente que alcanzaba una profundidad próxima a los 200 m. Este sondeo cuyas aguas se utilizaban para riego de viña, se situaba sobre una de las fracturas que de este a oeste recorren la cuenca de Granátula-Moral de Calatrava. La nueva perforación alcanza el techo de un acuífero confinado en el que existían importantes acumulaciones de gases volcánicos, principalmente CO₂, procedentes de la desgasificación en profundidad de masas magmáticas vinculadas al sistema del Campo de Calatrava. A lo largo de 176 días la surgencia se mantiene activa emitiendo un surtidor “chorro” continuo de agua, gas cuya elevación máxima fue de 60 m (Figura 2) y materiales del relleno de la cuenca sedimentaria (Ochoa y Arribas, 2001). Estos materiales fueron principalmente limos, arenas, arcillas y gravas, así como abundantes fragmentos de travertinos férricos (Figura 3) posiblemente generados por una actividad hidrotermal asociada al sistema volcánico calatravo. Los depósitos cubrieron un área de alrededor de 25 ha con espesores máximos de 60 cm (Figura 4).



Figura 2. Surgencia alcanzando una elevación de 60 m.



Figura 3. Fragmentos de travertinos férricos.



Figura 4. Depósitos de la surgencia.

3.2.1. Parámetros

La surgencia se vinculó a la excesiva profundidad del nuevo sondeo y al intenso bombeo de aire comprimido que provocó una descompresión y la nucleación del gas confinado y de su salida violenta hasta la superficie llegando a arrastrar parte de la entubación y las gravas del sellado. El volumen de agua emitido se calculó en 1 hm^3 por técnicos de la CHG, con caudales máximos de 75 l/s. La temperatura del agua, medida al iniciarse la surgencia, fue de $17,2^\circ\text{C}$ manteniendo unos niveles de pH entre 5,2 y 5,5. La hidroquímica determina que las aguas tienen un carácter bicarbonatado-sódico-magnésico no siendo aptas para el consumo humano (Tabla 1). La conductividad estuvo comprendida entre 750 y $2.250 \mu\text{S/cm}$. Los gases detectados fueron CO , CO_2 , O_2 , CH_4 , H_2 , N_2 . Las concentraciones más elevadas se midieron en el dióxido de carbono con valores del 300.000 ppm (30%) con presencia de oxígeno por debajo del 13%. El volumen de sólidos emitidos se estimó en 50.000 m^3 (EPTISA, 2001). El peso de los materiales y el déficit generado bajo la superficie por las continuas expulsiones dio lugar a la apertura de grietas y a una subsidencia máxima cifrada en 51 mm (Fabregat, 2000) que afectó a una distancia de 200 m desde la boca del sondeo. El surtidor tuvo continuados intentos de sellado por parte de los propietarios, utilizando desde métodos muy rudimentarios (amontonamiento de bloques de roca) hasta la utilización de válvulas capaces de contener la presión de la salida de gas. Estos procesos de hundimiento desembocaron en un desplome de 6 m de radio en torno a la válvula de sellado y en el cese completo y permanente de la surgencia el 16 de enero de 2001 (Figura 5).



Figura 5. Situación del sondeo tras el hundimiento y cese de la salida de gas y agua.

Tabla 1. Principales mineralizaciones nocivas para el consumo del agua de la surgencia. Fuente: EPTISA, 2001. Informe para la JCCM. Inédito.

Mineralización	mg/l
Magnesio	148
Hierro	57,4
Potasio	25
Manganeso	5,05

3.2. Surgencia de Bolaños de Calatrava. Marzo 2011

Se inicia el 4 de marzo de 2011, de forma espontánea, en un antiguo pozo de mina, abierto por la empresa ADARO para prospección de manganeso y posteriormente cedido a los propietarios de la finca para el regadío de parcelas de viñedo, en el interior del Maar de El Hondo. El surtidor de agua y gas se mantuvo activo durante 7 días, cesando de forma brusca el 10 de marzo, pasando el entubado del sondeo a actuar como sumidero de parte de las aguas encharcadas en el maar. La surgencia alcanzó una altura fluctuante en torno a 2-3 metros (Figura 6) y un caudal estimado de 100 l/s. El CO₂ se desprendió en una amplia superficie en torno a la surgencia dando lugar a un intenso burbujeo y a la formación de pequeños y efímeros volcanes de barro (Figura 7). El sondeo se localiza dentro de un maar lo que permitió que el agua emitida se acumulara en la hondonada del cráter anegando 89.030 m² a un ritmo inicial de 3 ha al día (Figura 8). Junto al gas y al agua se emitieron limos y arenas finas de tonos amarillentos. Personal del área de Geofísica del IGN instaló en las inmediaciones de la surgencia un sismómetro portátil para detectar la posible microsismicidad asociada al evento sin obtener ningún registro de la misma. Previamente y con posterioridad al inicio y finalización de la surgencia, propietarios de pozos situados en sus inmediaciones nos relataron la subida de nivel de los mismos y un “intenso burbujeo”, llegando a desbordar brocales y bocas de sondeo, “pudiendo sacarse el agua con la mano y un cubo” (Figura 12) como pudimos comprobar.

3.2.1. Parámetros

Los trabajos llevados a cabo por científicos del Instituto Volcanológico de Canarias (INVOLCAN) y del Grupo de Investigación: Geomorfología, Territorio y Paisaje en Regiones Volcánicas (GEOVOL) en la surgencia de Bolaños de Calatrava (Figura 9) ha dado a conocer la composición química y el origen de las emisiones anómalas de gas asociados a la misma. El gas emitido ha sido fundamentalmente CO₂ en concentraciones superiores al 90% (900.000 ppm) sin que se registrara la presencia de sulfuro de hidrógeno (H₂S) ni vapor de mercurio (Hg⁰), ambos característicos de sistemas geotermales activos. Los muestreos realizados también permitieron estimar la presión del sistema hidrotermal de baja temperatura, situado a 640 m de profundidad, que se ha cifrado en 63 bares, y la temperatura en unos 118-120°C. Al igual que en la cuenca de Granátula, el gas, en su ascenso a la superficie, queda atrapado en acuíferos confinados bajo los sedimentos.



Figura 6. Aspecto de la surgencia.



Figura 7. Pequeño volcán de barro.



Figura 8. Área encharcada en el mar.

Se estimó que el proceso de desgasificación emitió a la atmósfera 40 toneladas diarias de dióxido de carbono (CO_2) en una superficie de 91.413 m^2 . El 92% del gas emitido es de origen mantélico, siendo el 8% restante generado por alteración de rocas carbonatadas y por actividad hidrotermal. El origen del CO_2 se pudo determinar mediante análisis geoquímicos evaluando la firma isotópica del $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ y del $^3\text{He}/^4\text{He}$ (Figura 10) y de la relación molar $\text{CO}_2/^3\text{He}$ y CO_2/He . El volumen de agua expulsada fue aproximadamente de 50.000 m^3 . El análisis hidroquímico dio los siguientes resultados: Conductividad de $1.100 \mu\text{S}/\text{cm}$, el pH mantuvo un valor de 5,85 y la temperatura osciló de los $15,1^\circ\text{C}$ a los 18°C con un pico de $21,6^\circ\text{C}$.



Figura 9. Científicos de INVOLCAN y GEOVOL muestreando la emisión de gas en la zona anegada.

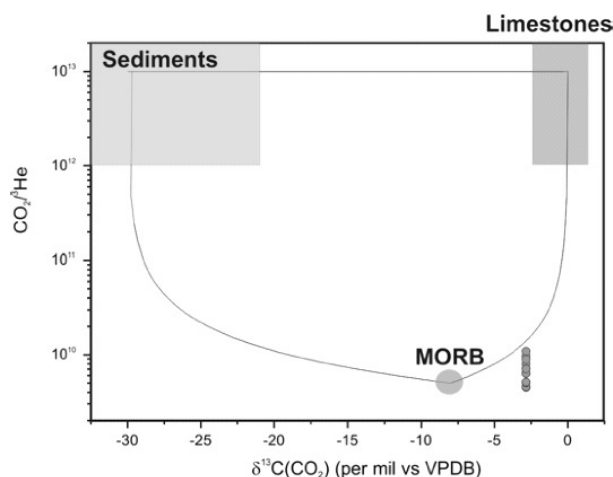


Figura 10. Clasificación genética del reservorio geoquímico de las muestras de CO_2 del chorro de Bolaños.

3.3. Surgencias de Almagro. 2011- 2013

Tras el cese de la surgencia del paraje de El Barranco en Bolaños de Calatrava, cuatro nuevos “chorros” se desarrollan en un radio de apenas dos kilómetros de esta última (Figura 11). Todos ellos asociados a procesos naturales vinculados al ascenso de los niveles freáticos y a procesos de descompresión interna que fuerza la salida violenta de los gases volcánicos presentes en las cuencas sedimentarias y al arrastre de agua.

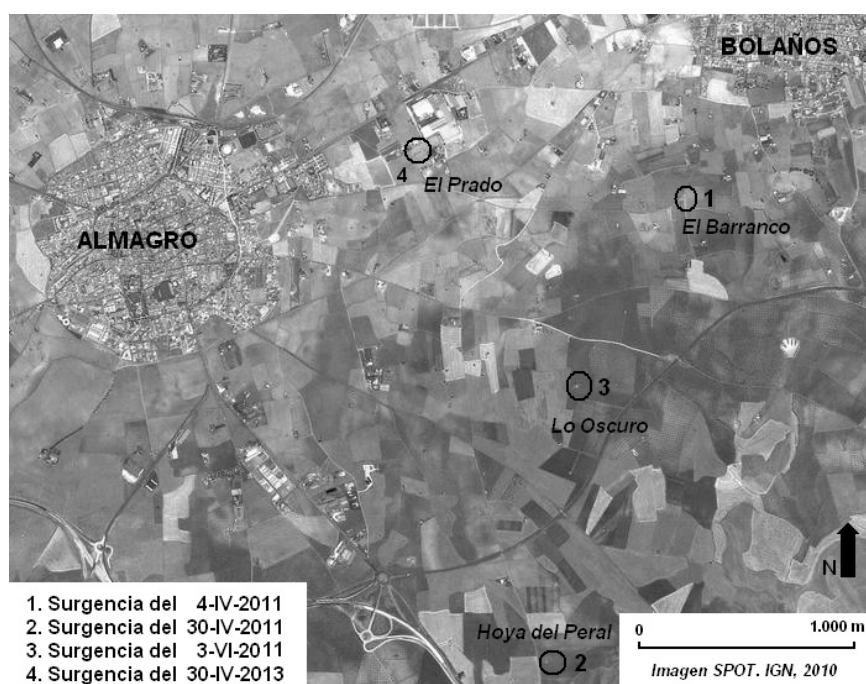


Figura 11. Situación de las surgencias del entorno Almagro-Bolaños de Calatrava.

3.3.1. Surgencia del paraje de Hoya del Peral

El 30 de abril de 2011 se inicia una salida masiva de gas y agua en un sondeo ubicado en el paraje de Hoya del Peral, en el término municipal de Almagro. El sondeo al que se asocia tiene una profundidad de 30 metros y se encontraba cerrado. Se inicia el 30 de abril y tiene una duración de 20 días. La altura alcanzada cuando se procede a la extracción del dispositivo de bombeo para evitar su deterioro, se estimó en unos 15 m. Los efectos sobre el entorno consisten en la inundación de parcelas de viña situadas en las inmediaciones, así como en corte por encharcamiento de caminos rurales.



Figura 12. Efectos de la salida de agua y gas en el exterior e interior de la caseta de un sondeo.

3.3.2. Surgencia del paraje de El Oscuro

Se inicia el 3 de junio del 2011 en el paraje de El Oscuro, en el término municipal de Almagro, y tiene una duración de 6 días (Figura 13). Alcanza una altura de 15 metros y provoca inundaciones en las parcelas circundantes.



Figura 13. Surgencia de El Oscuro. Cortesía de J.V. Gómez.

3.3.3 Surgencias del paraje de El Prado

El 30 de abril de 2013, en una parcela en la que se ubica una instalación industrial situada en las inmediaciones del casco urbano del municipio de Almagro, en el paraje de El Prado (Figura 11), tiene lugar la aparición de dos nuevas surgencias de agua y gas, vinculadas a sondeos para evacuación de aguas pluviales que tenían por objeto el aprovechamiento del líquido y evitar verterla a la red fluvial, donde generaría problemas de inundaciones, y usarla para la posible recarga del acuífero. La intensificación de las precipitaciones en el centro peninsular desde el invierno de 2009-10, forzó a los propietarios de la industria de fabricación de muebles, en la que surgen los surtidores, a la construcción de una balsa de 2000 m² para almacenamiento de aguas pluviales ya que no disponía en esas fechas de autorización para evacuar a la red general de alcantarillado. Esta balsa se nutría con los caudales proporcionados por cuatro bombas de achique que operaban dentro de las instalaciones de la empresa. Estas aguas se vertían la balsa mencionada y de ella a un sondeo de 30 m de profundidad perforado expreso en el que tuvo lugar la aparición de la surgencia exterior que se mantuvo activo durante meses. En el interior de la industria surge también un chorro que agrava la situación al tener que incrementarse los trabajos de bombeo continuado de agua. El “chorro” externo, único que pudimos visualizar, pero cuyos parámetros no pudimos analizar por no poder acceder al interior de la parcela, alcanzó una altura fluctuante que oscilaba de 2 a 15 metros (Figura 14), llegando a funcionar en su proceso evolutivo con pulsaciones en las que el surtidor desaparecía, manteniéndose inactivo durante uno o dos minutos para volver de nuevo a reaparecer cuando se recuperaban los valores de presión en la columna de agua y gas del sondeo.



Figura 14. Oscilaciones en la altura del chorro de El Prado. Imagen izquierda cortesía de J. Martín.

El principal problema estuvo relacionado con el desvío de parte de las aguas hacia el Arroyo Pellejero, cuyo cauce poco definido por el laboreo agrícola hacía peligrosa esta derivación por la posibilidad de que el

núcleo de Bolaños de Calatrava pudiera verse inundado. Se produjeron desperfectos en el interior de las naves industriales y encharcamiento de las parcelas de cereal circundantes.

4. CONCLUSIONES

Las surgencias que periódicamente se desarrollan en el Campo de Calatrava y que desde el año 2000 han acortado su periodo de recurrencia, son debidas a procesos de alteración de los gradientes de presión de acuíferos locales vinculados a depósitos permeables de origen hidromagmático, saturados de CO₂ procedente de la desgasificación de masas magmáticas en profundidad. Esta desestabilización está motivada por hechos naturales o inducidos por la actividad humana. Los hechos naturales se vinculan al aumento de los niveles freáticos de los mencionados acuíferos, especialmente significativos en los últimos años hidrológicos, mientras que los hechos antrópicos están asociados a profundización o manipulado de sondeos que acaban dando lugar a la despresurización de los sistemas hídricos saturados de gas.

Las cantidades de CO₂ emitidas a la atmósfera pueden ser elevadas llegando las concentraciones de este gas a alcanzar porcentajes del 30% y en situaciones extremas del 90% con valores de oxígeno inferiores al 13% lo que significa riesgo alto de muerte por asfixia. Hasta ahora las surgencias se han asociado a sondeos abiertos en el medio rural con lo que los daños se han limitado al encharcado de amplias superficies con afectación de cultivos y viviendas rurales o casetas de aperos, si bien la última surgencia ha implicado a un establecimiento industrial. Los daños son también causados por el intenso flujo de visitantes atraídos por la expectación que el fenómeno causa en la población.

Las surgencias de Bolaños de 2011 y Almagro de 2013, se han producido en el extrarradio urbano, peligrosamente cerca de zonas habitadas, midiéndose en sótanos y plantas bajas de viviendas, situadas a unos 1.000 metros de la primera, valores anómalos de CO₂ y puntualmente de radón, gas que es arrastrado también hacia la superficie (datos obtenidos en las campañas periódicas de monitoreo de gases volcánicos llevadas a cabo por GEOVOL en el Campo de Calatrava). En el siglo XVI se constata en crónicas de la época que en el núcleo urbano de Ciudad Real una “inundación que venía por debajo de la tierra” destruyó más de 300 casas.

Es evidente que estas surgencias implican un riesgo para la población y para las propiedades e infraestructuras de los lugares afectados. Por ello es imprescindible que desde la administración se propicien las campañas de investigación adecuadas, y dotadas económicamente, para evaluar las causas y consecuencias de este fenómeno, así como que se elaboren normativas tendentes al control de posibles manipulaciones en infraestructuras vinculadas a la explotación de los acuíferos afectados por la presencia de grandes cantidades de gases magmáticos.

5. BIBLIOGRAFÍA

- Bañítez, A. y Pulido, A. (2010): “Consideraciones hidrogeológicas sobre el Campo de Calatrava (Ciudad Real)”. En: González, E., Escobar, E., Becerra, R., Gosálvez, R. Dóniz, F. (eds). *Aportaciones recientes en Volcanología 2005-2008*. CEC, Almagro, 83-89.
- Bergamín, J.F. (1986): *Interpretación geotectónica del área del Campo de Calatrava (Ciudad Real), basada en determinaciones gravimétricas*. UCM, Madrid, 239 pp.
- Calvo, D., Barrancos, J.; Padilla, G.; Brito, M., Becerra, R., González, E., Gosálvez, R., Escobar, E., Melian, G., Nolasco, D., Marrero, R., Hernández, P. Y Pérez, N. (2010): “Emisión difusa de CO₂ en el Campo de Calatrava, Ciudad Real”. En: González, E., Escobar, E., Becerra, R., Gosálvez, R. Dóniz, F. (eds). *Aportaciones recientes en Volcanología 2005-2008*. CEC, Almagro, 51-53.
- EPTISA (2001): *Estudio de caracterización geológica e hidrológica del área afectante al sondeo surgente de Granátula de Calatrava (Ciudad Real)*. JCCM, Informe interno inédito.
- Fabregat, V. (2000): *Nota técnica sobre el reconocimiento de un sondeo surgente en la finca de Añavete en el término municipal de Granátula de Calatrava (Ciudad Real)* ITGME. Informe interno inédito.
- González, E. Gosálvez, R.U. Escobar, E. Becerra, R. (2007): “Actividad eruptiva holocena en el Campo de Calatrava (volcán Columba, Ciudad Real, España), En: *Contribución al estudio del periodo Cuaternario*. AEQUA, Ávila, 143-144.

- López, J. Y Mejías, M. (2011): *Sobre las características geológicas e hidrológicas en el entorno de la surgencia de agua subterránea en el término municipal de Bolaños de Calatrava (Ciudad Real)*. IGME, Informe interno inédito.
- Medina, P. (1549): *Libro de grandezas y cosas memorables de España*. Copia digital de la Biblioteca de Andalucía. <http://www.bibliotecavirtualdeandalucia.es/> Consulta hecha el 10 de marzo de 2015.
- Ochoa, M. y Arribas, J. (2001): “Petrografía de los depósitos arenosos generados por el sondeo surgente de Granátula de Calatrava (Ciudad Real). Implicaciones geotécnicas de la surgencia”. *Rev. de la Soc. Geológica de España*, 14 (3-4), 237-245.
- Rodríguez, M.A. y Barrera, J. L. (2002): “Estructuras paleosísmicas en depósitos hidromagmáticos del volcanismo neógeno del Campo de Calatrava, Ciudad Real (España)” *Geogaceta*, 32, 39-42.