

LAS ULTIMAS MANIFESTACIONES ASOCIADAS AL VULCANISMO DEL CAMPO DE CALATRAVA (CIUDAD REAL): LOS MANANTIALES TERMALES

Miguel Angel Poblete Piedrabuena

Iturri termalak nagusiki IM-HEtik IIM-HHEra eta EIE-MHM norabideko lerrokaduretan egituraturik daude eta sumendi-eraketak erakusten duenarekin bat datos Aldi berean, iturrien bidez antzemaniko lerrokadura tektonikoek topografia deprimitu nabarmena duen pentagono itxurako figura moldatzen du Ciudad Real hiria ingurman, zeinak gune bolkaniko nagusia eta zenbait azpiarro tertziario barne hartzen dituen. Aurrekoari geofisikak ekarritako informazioa erantsiz gero, gauza nabaria da eremu tektonikoki deprimitu baten aurrean aurkitzen gairela. Ondorioz, fenomeno hidrotermalak hemen bolkanismoari estuki loturiko eta jatorri magnetiko erresiduala duen iharduera adierazten du.

16 analisi kimiko eta mineralogikoei esaten digute beren urak ferromanganosak direla, batez beste 24,52 ppm burdina eta 0,30 ppm manganeso jaikitzen direlarik. Jaikitako hondarrak funtsean goethita, siderita eta kuartzo osaturik daude. Mineral hauek berak eremu honetako azal ferruginosetako osagai nagusiak dira, kuaternarioko gainaldeko formazioei dagozkiena, berauek kolubioek, metaketa-glazisek eta ibai biltegiek moldatuak direlarik. Ukituriko formazioak eta iturriak espazioan hurbil izatea, bai eta azaletako zementuen eta jaikitako hondarren antzekotasun mineralogikoa iharduera hidrotermalak azal ferruginosoen morfogenesian parte hart duela frogatzen da.

Los manantiales termales se articulan en alineaciones cuyas directrices, de dominante NO-SE a NNO-SSE y ENE-OSO, coinciden con las adoptadas por los edificios volcánicos. Al mismo tiempo, los lineamientos tectónicos deducidos a través de los veneros definen en torno a Ciudad Real capital una figura pentagonal de marcada topografía deprimida, que engloba el núcleo volcánico principal y varias subcuencas terciarias. Si a esto se añade la información geofísica existen evidencias más que fundadas para precisar que nos hallamos ante una zona tectónicamente deprimida. Por consiguiente, el fenómeno hidrotermal representa aquí una actividad de origen magmático residual íntimamente vinculado al volcanismo.

Los análisis químicos y mineralógicos de 16 azancas revelan que sus aguas son ferromanganosas, depositándose una media de 24,52 ppm de hierro y 0,30 ppm de manganeso. Los residuos precipitados se componen fundamentalmente de goethita, siderita y cuarzo. Estos mismos minerales son también los principales componentes de las costras ferruginosas de este área, que afectan a formaciones superficiales de edad cuaternaria, constituidas por coluviones, glaciares de acumulación y depósitos fluviales. Tanto la proximidad espacial entre las formaciones afectadas y los manantiales como la similitud mineralógica de los cementos de las costras y los residuos precipitados son pruebas inequívocas de la participación de la actividad hidrotermal en la morfogénesis de los encastramientos ferruginosos.

Les sources thermales forment des alignements dont les tracés principaux, d'orientation dominante NO-SE à NNO-SSE et NNE-OSO coïncident avec ceux qu'adoptent les édifices volcaniques. En même temps, les alignements tectoniques obtenus à partir des sources, dessinent tout autour de la ville de Ciudad Real une figure pentagonale qui possède une topographie fortement déprimée, qui comprend le noyau volcanique principal et plusieurs sub-bassins tertiaires. Si à cela on ajoute l'information géophysique, nous obtenons des évidences plus que fondées pour affirmer que nous nous trouvons en face d'une zone tectoniquement déprimée. Par conséquent, le phénomène hydrothermal représente ici une activité d'origine magmatique résiduelle étroitement liée au volcanisme.

L'analyse chimique et minéralogique de seize sources souterraines indiquent que les eaux de ces dernières sont ferromanganesifères, et déposent en moyenne 24,52 ppm de fer et 0,30 ppm de manganèse. Les résidus déposés sont composés principalement de goéthite, de sidérite et de quartz. Ces mêmes minéraux sont aussi les principaux composants des croûtes ferrugineuses de cette zone, qui intéressent des formations superficielles de l'ère quaternaire, formées par des colluvions, des glaciaires d'accumulation et des dépôts fluviaux. La proximité dans l'espace entre les formations intéressées et les sources, ainsi que la ressemblance minéralogique des ciments des croûtes et des résidus précipités constituent des preuves indéniables du rôle de l'activité hydrothermale dans la morphogénèse des encroûtements ferrugineux.

I. INTRODUCCION

La comarca del Campo de Calatrava, situada en el centro de la provincia de Ciudad Real, constituye una de las unidades morfoestructurales del borde meridional de la Submeseta Sur, cuyo rasgo distintivo es la presencia de un relieve volcánico puntual que interfiere y modela otros rasgos geomorfológicos sobre una superficie de 2.763 km². Aun siendo el núcleo esencial de la región volcánica de Ciudad Real, se hallan manifestaciones eruptivas repartidas en otras unidades morfológicas como son el Valle de Alcudia y del Ojalén en Sierra Morena; así como en La Mancha, Montes de Toledo e incluso en la comarca de los Montes.

Los límites del Campo de Calatrava están definidos al N y NO por las estribaciones meridionales de los Montes de Toledo; al Sur, lo cierran los valles del Ojalén y de Alcudia; mientras que al nordeste y levante delimita con La Mancha y la cuenca alta del Jabalón respectivamente. En definitiva, la comarca volcánica del Campo de Calatrava engloba el valle del río Tirteafuera, al Sur; el del Jabalón, en la parte central; el del Guadiana, en el área más septentrional; y al este el del Pellejero (Hernandez Pacheco, 1932).

II. CARACTERISTICAS GENERALES DEL VOLCANISMO DEL CAMPO DE CALATRAVA

En cuanto a la edad de la actividad volcánica, cuyo desarrollo es discontinuo en el tiempo, se han distinguido dos etapas eruptivas generalizadas: una iniciada en el Mioceno superior (8.5 a 6.5 mill. de años), de carácter ultrapotásico y que edifica un único volcán, el Morrón de Villamayor de Calatrava; y otra de mayor trascendencia morfológica que comienza, tras un largo período de inactividad, en el Plioceno inferior y se prolonga hasta el Pleistoceno inferior-medio (ANCOCHEA, 1983).

No obstante nosotros hemos distinguido, mediante el análisis volcanoestratigráfico de algunos perfiles representativos de las subcuencas terciarias de Corral y Alcolea de Calatrava, tres etapas volcánicas durante el período de sedimentación neógena. Las dos primeras presentan exclusivamente dinámicas explosivas de tipo freatomagmático, sin evolución hacia otros mecanismos eruptivos y con resultados morfológicos muy diferentes. Así de la primera etapa (EVI), acontecida entre finales del Mioceno superior y comienzos del Plioceno inferior, sólo tenemos constancia de tal suceso merced a sus depósitos freatomagmáticos interstratificados en la serie sedimentaria. Por el contrario, de la segunda etapa eruptiva (EV2) que transcurre en el límite entre el Plioceno inferior y el superior, hemos hallado seis cráteres explosivos o maares inéditos, que constituyen los únicos testimonios morfológicos de dicha etapa eruptiva. Se trata de los cráteres explosivos de Galiana (atravesado por la C.N. 430 en el tramo CReal-Piedrabuena), Benavente, Los Corrales; así como de Cantarranas, La Encamienda y las Higuieruelas. Así pues, estos cráteres explosivos constituyen los únicos aparatos volcánicos de edad pliocena que se conservan en esta comarca volcánica. Presentan las siguientes características morfológicas comunes: ausencia de bordes anulares de materiales

freatomagmáticos y presencia, por contra, de orlas de calizas ruscinienses dislocadas con buzamientos periclinales convergentes. Estas deformaciones responden a fenómenos volcánico-tectónicos, consistentes en el reajuste subsidente del borde del cráter y de la diatrema como respuesta a la distensión posteruptiva y a la deshidratación y compactación de los materiales freatomagmáticos alojados en el interior de la chimenea volcánica.

Por último, la tercera etapa volcánica (EV 3) se caracteriza por disponer de mecanismos eruptivos estrombolianos que edifican, en torno al Villafranquiense inferior-medio, volcanes mixtos entre los que destacan como ejemplos más representativos los de Juan de la Puerta y Cabezo del Moro (POBLETE, 1991).

La actividad volcánica durante el Cuaternario se caracteriza por la mayor diversidad de estilos eruptivos que conllevan morfológicamente una amplia variedad de formas y tipos de edificios volcánicos. Entre ellos podemos encontrar desde volcanes estrombolianos o mixtos hasta aparatos de tipo lávico, pasando por volcanes piroclásticos además de cráteres explosivos o maares; por último son frecuentes los edificios domáticos.

Hasta el momento, las etapas eruptivas que transcurren durante el Cuaternario no han sido especificadas. Únicamente disponemos de datos para precisar que la actividad eruptiva se prolonga como mínimo hasta la transición del Pleistoceno medio al superior, como así lo atestigua la segunda fase morfoeruptiva del cráter explosivo de La Pesadilla, al fosilizar sus oleadas piroclásticas húmedas la terraza aluvial +5-6 m. del río Guadiana (POBLETE, 1991).

Los materiales volcánicos emitidos son muy homogéneos desde el punto de vista litológico dada la falta de procesos de diferenciación magmática, con presencia exclusiva de productos ultrabásicos y básicos alcalinos, distribuidos espacialmente en torno a bandas. Así los basaltos ocupan una banda central dispuesta en dirección NNO-SSE, mientras que nefelinitas y mellilitas se reparten en áreas laterales y marginales respectivamente (ANCOCHEA, 1983).

La génesis de esta actividad volcánica en la Submeseta Sur responde tanto a la presencia de un punto caliente, es decir, un flujo térmico anormalmente vigoroso en el manto superior como al ascenso de unos 10 a 20 km. de la astenosfera, que producen dada la incidencia de los esfuerzos tectónicos de la formación del Sistema Bético, el abombamiento de la corteza y el inicio de un rift poco evolucionado o abortado (ANCOCHEA, 1983; BERGAMIN, 1986; BERGAMIN y CARBO, 1986). Además, debemos reseñar una tercera posibilidad ligada estrechamente a una intensa fracturación de dirección NO-SE y NNO-SSE paralela a la disposición morfotectónica de la Cordillera Ibérica y a la de su alineación más occidental -la Sierra de Altomira- que rasga profundamente la corteza desde los Montes de Toledo hasta Sierra Morena, permitiendo el ascenso de magmas (ROMERO et al., 1986).

II. INVENTARIO DE LOS MANANTIALES TERMALES DE CIUDAD REAL

El criterio sobre termalismo que hemos adoptado para la elaboración del catálogo de estos manantiales es el que precisase ya Schoeller (1962, p. 253) y que recoge actualmente el título IV de la Ley de Minas (29 de julio de 1973): "Aquellas cuya temperatura de surgencia sea superior en 4°C a la media anual del lugar donde alumbren".

En esta región los manantiales termales son conocidos popularmente con el término de hervideros o fuentes de agua "agria", dado su alto contenido en anhídrido carbónico que se desprende en forma de borbotones y proporciona a su vez un acentuado sabor picante. Estas denominaciones se empleaban ya en el siglo XVI tal y como se manifiesta en las Relaciones Topográficas de Felipe II al referirse a la fuente de Puertollano: "...y que tiene junto a la dicha villa una fuente que se llama la fuente Aceda porque el agua della es agria y sale la di-

cha agua encima de tierra hirviendo hacia arriba ordinariamente sin cesar como si fuese una caldera de agua hirviendo por todas partes...”

Con el propósito de obtener un inventario lo más completo posible hemos recurrido tanto al trabajo de campo consistente en el recorrido sistemático del área de estudio- como a la consulta de algunos documentos históricos, entre los que merece destacar: la obra de Limón Montero publicada en 1697 con el título “Espejo cristalino de las Aguas de España, hermoseado y guarnecido con el marco de variedad de Fuentes y Baños”; las descripciones de la diócesis del Arzobispado de Toledo promovido por el Cardenal Lorenzana en 1782; el Diccionario Geográfico-Estadístico-Histórico de Madoz (1845-1850); y, por último, el “Tratado completo de las fuentes minerales de España” publicado por Pedro María Rubio en 1853.

La obra de Limón Montero constituye el primer tratado publicado en España sobre las aguas minerales y, por ende, el primer cuerpo de doctrina sobre dicho tema. De ella destaca el tercer libro acerca de las “aguas azedas del Campo de Calatrava y sus medicinas”. Por su parte, las descripciones del Cardenal Lorenzana (1782) suministran la información precisa para establecer la localización exacta de las fuentes termales. En ella se incluyen un buen número de localidades entre las que se encuentran las villas de Aldea del Rey, Calzada de Calatrava, Granátula de Calatrava; junto a las de Miguelturra, Pozuelo de Calatrava, Valverde, Villamanrique y Viso del Marqués. En el Diccionario de Madoz (1845-1850) se dedica un apartado a las aguas minerales de Ciudad Real, mencionándose por vez primera las halladas en los términos de Villar del Pozo, Almagro y Alcolea de Calatrava. Para concluir, el tratado de Pedro María Rubio constituye posiblemente uno de los censos más completos de las aguas minerales de España. En efecto, el realizado para la provincia de Ciudad Real recoge todos los veneros citados con anterioridad, así como otros no incluidos por lo que resulta el más nutrido de los consultados. Es, por consiguiente, una de las fuentes de referencia a las que acudir siempre que se realice un estudio sobre termalismo en España.

Así pues, a través de tales documentos mencionados hemos confeccionado un catálogo de manantiales termales de Ciudad Real (Cuadro I), en el que se enumeran un total de 29 manantiales con 42 puntos de agua o exutorios, repartidos entre 23 localidades. La información sobre la temperatura y la facies hidroquímica ha sido tomada de las distintas fuentes recogidas en la bibliografía.

CUADRO I

CENSO DE MANANTIALES TERMALES DE LA PROVINCIA DE CIUDAD REAL

Manantial	Localidad	Exutorios	T°C	Facies Hidroquímica
Baño de S. Cristobal	Pozuelo	2	19	Bicarb. magn-calc.
Pisada de la Vaca	Pozuelo	1	17	Bicarb. magn-calc.
Piedra de Hierro	Pozuelo	1	18	
Chorlillo	Pozuelo	2	21	Bicarb. sód-magn.
Herv. de Fuensanta	Pozuelo	2	19	Bicarb. sód-magn.
Herv. de Villafranca	Pozuelo	2	21	Bicarb. magn-calc.
Fuente Agria	Puertollano	1	18	Bicarb. cálcica
Colodrilla	Pozuelos	2	17	Bicarb. sód-calc.
Sacristanía	Calzada	2	17	
Herv. del Prado	Villar del Pozo	1	28	Bicarb. sód-magn.
Fuentillejo	Ciudad Real	3	18	Bicarb. magn-calc.
Herv. de Carrión	Carrión	1	15	Sulf.bic.magn-calc,
Fuente Aceda	Corral	1	20	Bicarb. cálcica
Fuente del Regajo	Fuente el Fresna	1	-	
Baños de Chiriví	Torrenueva	1	-	
Baños de Perete	Villamanrique	1	-	
Fuente del Diezgo	Aldea del Rey	1	-	
Baños del Cristo	Albadalejo	1	-	
Baños del Peral	Valdepeñas	1	15	Bicarb. calc. fer.
Baños de Sta. María	Piedrabuena	1	-	
Baños de Villanarejo	Navalpino	3	-	Bicarb. fer.
Baños de Cervantes	Mudela	2	-	Bicarb. fer.
Baños de las Nieves	Bolaños	2	-	
Baño de Fontecha	Aldea del Rey	1	17	
Baño del Barranco	Aldea del Rey	1	17	
Baño Chico	Aldea del Rey	1	-	
Casablanca	Poblete	1	13	Bic.sulf. sód-mag.
Baños de Fuencaliente	Fuencaliente	1	38	Bic.fer.mangane.
Mina Nazarena	Almuradiel	1	-	

III. LOS MANANTIALES TERMALES Y LA ESTRUCTURA TECTONICA REGIONAL

Los manantiales termales de la provincia de Ciudad Real están adscritos en su mayor parte al área volcánica del borde meridional de la Submeseta Sur, la cual se extiende desde las estribaciones meridionales de los Montes de Toledo al N. hasta las septentrionales de Sierra Morena, englobando las unidades morfoestructurales de los Montes de Ciudad Real, Campo de Calatrava y La Mancha. Si analizamos con detenimiento la distribución de los puntos inventariados (Fig. 1) comprobaremos que el mayor número de ellos (unos 22 manantiales) se encuentran situados precisamente en el núcleo volcánico principal -cual es la unidad morfoestructural del Campo de Calatrava-, en tanto que otras unidades como La Mancha y los Montes de Toledo tan sólo cuentan con un único manantial. Además los veneros no se disponen al azar, sino articulados en una red de alineaciones bien definidas, entre las que

destaca unas directrices dominantes NO-SE y NNO-SSE; y otra subordinada de dirección ENE-OSO. En concreto, la alineación principal de componente NO-SE se prolonga a lo largo de 160 km. desde la localidad de Navalpino en los Montes de Ciudad Real hasta Villamanrique en Sierra Morena, quedando definida por los siguientes manantiales: Villanarejo, Santa María y Fuentillejo; además de Fuensanta, Chorrillo, Fontecha y el Barranco en la cuenca del Guadiana y, por último, el de Chiriví en Torrenueva.

En cuanto a las de componente NNO-SSE cabe precisar que se ciñen en su trazado a tramos concretos de la cuenca alta del Guadiana y baja del Jabalón. Especialmente en esta última se perfila una alineación de unos 20 km. de longitud, jalonada por un número profuso de manantiales: San Cristobal, Chorrillo y La Nava; además de Fuensanta, Barranco, Diezgo y Sacristanía.

Entre las secundarias de componente ENE-OSO sobresale la alineación de 32 km. definida por los Baños de Villar del Pozo, Hervideros de Villafranca y Fuensanta; junto a los de San Cristobal y de Nuestra Sra. de las Nieves en Bolaños.

Así pues, parece evidente, sin entrar en otras consideraciones, la estrecha relación entre manifestaciones termales y volcanismo, por cuanto que la articulación de los manantiales en torno a directrices de componente NO-SE a ONO-ESE, NNO-SSE y ENE-OSO coincide plenamente con la adoptada por los principales centros eruptivos. Estos se disponen en alineaciones morfológicas entrecruzadas de dirección NO-SE a ONO-ESE las principales (cuentan con mayor densidad de afloramientos) y NE-SO a ENE-OSO las secundarias. En efecto, tanto las manifestaciones volcánicas como las termales responden a las mismas pautas estructurales de orden regional, consistentes en un entramado de líneas de fracturas que sesgan los materiales del zócalo hercínico, agrupadas en dos familias: de un lado, la principal orientada de NE-SO a ENE-OSO; de otro, la de NO-SE a ONO-ESE (ROIZ, 1979). Por el contrario, Antón Pacheco (1980) distingue en los lineamientos, interpretados a través de imágenes de satélite, como dominante la componente ONO-ESE, seguida de la ENE-OSO y N-S a NNO-SSO. En cualquier caso, ambas familias de fracturas se asocian según la opinión comúnmente aceptada (JULIVERT et al., 1983) con periodos de deformación tardihercínicas, reactivándose la potencialidad de estas antiguas dislocaciones con ocasión de los reajustes tectónicos acontecidos al ocaso de la orogenia alpina.

Por otro lado, los estudios geofísicos realizados en los últimos años han desvelado la presencia en esta región de una serie de anomalías tanto corticales como mantélicas, que contribuyen a despejar cualquier resquicio de duda sobre la atribución volcánica de tales manifestaciones termales. En cuanto a las primeras, Cadavid (1977) precisa un adelgazamiento de la corteza cuyo mínimo se centra concretamente en el área de Ciudad Real. Sobre las del manto, Bergamín (1985) y Bergamín y Carbo (1986) detectan una anomalía gravimétrica de 100 km. de longitud y de -20 miligales de valor, localizada en una banda de dirección NO-SE, cuyo centro se sitúa en la capital de Ciudad Real. Esta la interpretan como resultado del ascenso de unos 10 a 20 km. de la astenosfera en el manto superior a lo largo de 100 km. y por la presencia en la zona subcortical de un manto anómalo de baja densidad (3.05 g/cc.) de 6 km. de espesor, extendido sobre 100 km.

Para terminar, las alineaciones de los manantiales termales definen un área de forma pentagonal en torno a C.Real capital, la cual coincide con una topografía claramente deprimida en la que se inscriben algunas de las principales subcuencas terciarias del Campo de Calatrava, así como su núcleo volcánico por excelencia. A la par, los lineamientos obtenidos mediante la interpretación de imágenes landsat (ANTON-PACHECO, 1980) delimitan también el mismo espacio deprimido, englobando en su seno la figura conformada por los manantia-

les termales. Por consiguiente, la coincidencia tanto de las directrices de las alineaciones como de las figuras geométricas con topografías deprimidas, nos inducen a no descartar la posibilidad de que se correspondan con una zona tectónicamente deprimida.

IV. PARTICIPACION DE LOS MANANTIALES TERMALES EN LA MORFOGENESIS DE LOS ENCOSTRAMIENTOS FERROMANGANESIFEROS

Las referencias bibliográficas relativas a la participación de los manantiales termales en la génesis de formaciones superficiales, a través de la precipitación de sedimentos sólidos (carbonato, hierro, etc.), son muy frecuentes en la literatura hidrogeológica (MARIA RUBIO, 1853; RITTMANN, 1963; CASTANY, 1967; CRUZ-SANJULIAN y GARCIA ROSSELL, 1975; CUSTODIO Y LLAMAS, 1976; NABOKO, 1982). Sobre la zona de estudio en cuestión fue Francisco Hernández-Pacheco, quien en 1932 estableció por vez primera la relación entre la presencia de costras ferruginosas y manantiales termales. En efecto, señala que algunos conglomerados cuarcíticos cementados en las proximidades de los manantiales son resultantes de la precipitación de los óxidos de hierro disueltos en tales aguas. Con posterioridad, en la década de los ochenta Crespo Zamorano (1988) vuelve a asociar la morfogénesis de las costras ferruginosas con las manifestaciones volcánicas, en concreto, con las aguas termales. No obstante, dicha afinidad no queda del todo confirmada, pues a nuestro juicio, no es suficiente con determinar la mineralogía de los encostramientos ferruginosos y exponer la vinculación espacial entre éstos y los veneros. Es necesario, además, precisar la composición química de las aguas, así como las características mineralógicas de sus remanentes, con el fin de comprobar la similitud entre los minerales de éstos y los que configuran las costras ferruginosas. Con estos presupuestos metodológicos realizamos un pequeño estudio centrado en el análisis de nueve manantiales termales y de algunas formaciones superficiales, cuyos resultados pueden encontrarse en Poblete (1989).

En esta ocasión los análisis químicos efectuados mediante espectrofotometría de absorción atómica sobre 16 manantiales (Cuadro II) revelan también la presencia de un alto contenido en hierro (hasta 78 ppm. en suspensión) y manganeso (hasta 1,38 ppm. en disolución), al tiempo que un exceso de anhídrido carbónico libre (IGME, 1980) que alcanza en Puertollano hasta 2.000 ppm.; además de una temperatura elevada (en torno a 17-28°C) y, por último, un ph ácido (con valores muy bajos de 5,7 y 5,8 en Colodrilla y Puertollano respectivamente). Así pues, tanto la temperatura, netamente superior a la media regional (14,6°C), como el alto contenido de anhídrido carbónico libre y la presencia de boro, amonio y litio (IGME, 1986), nos inducen a asegurar su procedencia de emanaciones magmáticas.

El enriquecimiento de estas aguas termales en hierro y manganeso obedece a la acción química conjunta de la alta presión y temperatura, condiciones de reducción y exceso de anhídrido carbónico, el cual contribuye a un ph ácido del agua. Todos estos factores favorecen que las aguas sean muy agresivas y, en suma, capaces de lixiviar los recubrimientos ferruginosos peliculares de las cuarcitas y pizarras del zócalo paleozoico (correspondientes a los niveles del ordovícico y del silúrico), sin que se descarten aportes parciales procedentes de emanaciones endógenas. Por tanto, bajo estas condiciones reductoras y de acidez los cationes metálicos lixiviados permanecen disueltos en dichas aguas. Ahora bien, cuando éstas brotan en superficie se produce la ruptura del equilibrio químico, debido a la disminución de la temperatura y de la presión y al paso a un medio oxidante. Esto facilita la salida masiva del gas carbónico -que incrementa así el ph del agua- y una mayor oxigenación de las aguas que propician la precipitación de los solutos metálicos, especialmente del hierro.

CUADRO II
ESPECTROFOTOMETRIA DE ABSORCION ATOMICA DEL HIERRO Y MANGANESO CONTENIDO EN LOS MANANTIALES TERMALES DEL CAMPO DE CALATRAVA Y DIFRACCION DE RAYOS X DE LOS REMANENTES PRECIPITADOS

MANANTIAL	LOCALIDAD	Coordenadas UTM		Cota mts.	Caudal (l/sg)	T(°C)	pH	CO ₂ (*)	en disolución(*)		en suspensión(*)		Mineralogía	
		X	Y						Fe	Mn	Fe	Mn	ABUNDANTES	ACCESORIOS
Fuente Pública	Puertollano	403,800	4.282,85	690	0.25	18	5.8	2.000	14.85	0.37	0	0	—	—
Villafranca	Pozuelo de Calatrava	421,850	4.300,05	640	0.10	21.5	7.5	35	0.03	0.26	48.06	0.036	G,Q,C,D,FD	IL,R,L
Chorrillo	"	425,900	4.298,90	620	0.01	21	7.3	110	0.01	0.15	0	0	—	—
Piedra de Hierro	"	425,900	4.298,70	620	0.01	18	—	—	0.03	0.10	47.32	0.031	G,Q,FD	F,M,C,D
San Cristobal	"	426,250	4.301,95	610	0.07	19	6.1	47	0.03	0.18	78.86	0.044	G	Q,C,D,FD,FM
Fuensanta	"	424,150	4.300,70	630	—	19	7.4	180	0.02	0.04	24.03	0.028	—	—
Pisada de la Vaca	"	426,500	4.297,95	620	0.01	17	7.3	95	0.01	0.15	—	—	—	—
Los Baños	Villar del Pozo	416,200	4.300,00	640	1.00	28	7.1	80	0.01	0.25	34.01	0.018	A	A
Fuentillejo I	Ciudad Real	411,500	4.311,00	580	1.00	18	7.1	—	0.01	0.13	32.98	0.029	Q,G	IL,L,R,C,F
Fuentillejo II	"			580	—				0.09	0.03	4.85	0.080	Q,G,C	D,FD,F
Sacristania	Calzada de Calatrava	430,700	4.282,50	658	—	17	—	—	0.20	0.13	14.50	0.040	G,Q	IL,L,S,FD,F
Baño del Barranco	Aldea del Rey	430,200	4.293,25	622	0.01	17	6.3	—	0.60	0.30	9.20	0.240	Q,G,C	FD,D
Baño de Fontecha	"	429,500	4.294,30	620	—	—	6.4	—	0.60	0.45	14.30	0.250	G,SM,Q	C,D,F
Baño Chico	"				—	—	—	—	0.70	0.40	21.00	0.050	G,Q	C,D,M,F,FD
Fuente de Colodrilla	Pozuelos de Calatrava	399,025	4.311,40	580	0.25	17	5.9	340	0.15	0.60	25.03	0.030	Q,G,SM	C,D,R
Charca de Colodrilla	"	399,025	4.311,40	580	0.10	17	5.7	160	0.13	1.30	13.70	0.160	Q,G	FD

Fuente: Análisis efectuados por el autor en el Laboratorio de Edafología y Mineralogía de la Escuela de Ingenieros Técnicos Agrícolas de Ciudad Real; los datos del caudal, del pH y del anhídrido carbónico proceden de la *Prospección Geoquímica y Termométrica en la provincia de Ciudad Real*. Vol. 1, Madrid, IGME, 1980.

(*) Las cifras están expresadas en partes por millón (ppm) o mg/l.

A: Amorfo
C. Calcita
D. Dolomita

F: Filosicato
FD: Feldespato
G. Goethita

IL: Ilmenita
L: Lepidocrocita
M: Manganita

Q: Cuarzo
R: Ramsdellita
S: Siderita

SM: Siderita con manganeso

La cifras obtenidas mediante los análisis de absorción atómica (Cuadro II) ponen de manifiesto que las aguas termales de Ciudad Real son muy ferromanganosas. Concretamente el hierro total contenido en las aguas, precipitado en su mayor parte, oscila entre las 4,85 ppm. de Fuentillejo II y los 78,86 ppm. de San Cristobal, con una media de las máximas de 24,52 ppm. (cuando la concentración del hierro oscila entre 0 y 10 ppm.). Por el contrario el hierro total que se encuentra en disolución, a excepción de la fuente de Puertollano, es mínimo estando siempre por debajo de 1 ppm. El hecho de que la fuente de Puertollano tenga todo el hierro disuelto puede deberse a la abundancia de gas carbónico (2.000 ppm.) y, por ende, a la acidez y agresividad del agua.

El contenido en manganeso también es muy elevado presentándose, a diferencia del hierro, preferentemente en disolución. Sus valores oscilan entre 1,30 ppm. de la charca de Colodrilla y 0,03 ppm. de Fuentillejo II, con un promedio de las máximas de 0,30 (téngase en cuenta que la concentración de manganeso suele encontrarse por debajo de 0,2 ppm.).

En cualquier caso, la presencia de hierro y manganeso en estas aguas termales no es un fenómeno excepcional y menos aún aislado. En las áreas volcánicas activas existen múltiples paradigmas de zonas termales donde en la actualidad están precipitando tales minerales. Así, verbigracia, Tkachenko y Zotov (1982) señalan la presencia de importantes depósitos de jarosita en el volcán de Kusatsu en Japón, los cuales superan los 2 km. de longitud y alcanzan hasta 200 m. de espesor. El mismo tipo de depósito de hierro se localiza en el volcán Tankuban Praku en la isla de Java (Indonesia), próximo al campo de fuentes termales de Chiater, donde alcanzan espesores de más de 13 m. Asimismo, estos autores han estimado -mediante el estudio de la alteración hidrotermal de las rocas- que desde el comienzo de la actividad volcánica en la región de Ebeko las aguas termales han transportado un total de 400 millones de toneladas de óxido de aluminio y otros 200 millones de toneladas de óxido de hierro.

La difracción de rayos X de los residuos sólidos depositados (Cuadro II) nos ha permitido determinar su composición mineralógica. Se trata fundamentalmente de hidróxidos de hierro (goethita), además de cuarzo, calcita y carbonato de hierro (siderita). Entre los minerales accesorios se encuentran óxidos e hidróxidos de manganeso (en forma de ramsdellita y manganita), dolomía y, por último, óxidos e hidróxidos de hierro menos frecuentes como la imenita y la lepidocrocita.

Estos minerales precipitados son arrastrados por la propia dinámica del agua, deteniéndose y agrupándose en las inmediaciones de los veneros. Con frecuencia, los sedimentos del entorno han sido cementados y compactados merced a la atracción ejercida por los materiales silíceos y las condiciones climáticas de contrastes estacionales muy marcados, imperantes durante el Plioceno y el Cuaternario. De este modo las fracciones detríticas de los glaciares de acumulación (Sierra de Medias Lunas-Colodrilla), coluviones (Puente de Alarcos) y depósitos fluviales (terrazas del Gadiana +40 m., +10 m. y +2 m.) se encuentran completamente encostrados. En efecto, las difracciones en polvo realizadas en estos depósitos revelan el predominio del cuarzo (fracciones detríticas cuarcíticas), así como de hidróxidos y óxidos de hierro en forma exclusivamente de goethita y hematites, ya comprobado con anterioridad (Poblete, 1989). Demostrándose, por tanto, la similitud y correlación entre los minerales férricos que conforman el cemento de las formaciones superficiales encostradas y los minerales depositados actualmente en los manantiales. De lo que se infiere que las aguas termales ferromanganosas han participado activamente (desde el comienzo de la actividad volcánica en torno al Mioceno superior-Plioceno inferior) en la morfogénesis de las encostramientos ferruginosos de las formaciones superficiales adyacentes.

BIBLIOGRAFIA

- ANCOCHEA, E. (1983): Evolución espacial y temporal del volcanismo reciente en España central. Madrid, U.C.M., 675 pp.
- ANTON-PACHECO, C. (1980): Mapa de lineamientos deducidos de las imágenes landsat a E. 1: 1.00.000. Madrid, IGME.
- BERGAMIN, J.F. (1986): *Interpretación geotectónica del área del campo de Calatrava (C. Real), basada en determinaciones gravimétricas*. Madrid, U.C.M., 239 pp.
- BERGAMIN, J.F. y CARBO, A. (1986): "Discusión de modelos para la corteza y manto superior en la zona sur del área Centroibérica, basados en anomalías gravimétricas", *Estudios Geológicos*, nº 42, pp. 143-146.
- CADAVID, S. (1977): "Avance del mapa de isopacas de una "corteza normal" para la Península Ibérica y principales accidentes de posible alcance cortical", *Boletín Geológico y Minero*, T. LXXXVIII-VI, pp. 561-566.
- CASTANY, G. (1967): *Traité pratique des eaux souterraines*. París, Dunod, 661 pp.
- CRESPO ZAMORANO, A. (1988): "Primeras notas sobre los yacimientos de manganeso cobaltífero en el plioceno del Campo de Calatrava (Ciudad Real)", *Boletín de la Soc. Española de Mineralogía*, vol. 11, pp. 149-152.
- CRUZ-SANJULIAN, J. y GARCIA ROSELL, L. (1975): "Termalismo en España meridional", *Boletín Geológico y Minero*, T. LXXXVI-II, pp. 179-186.
- CUSTODIO, E. y LLAMAS, M.R. (1976): *Hidrología subterránea*. Omega, Barcelona, 1.154 pp.
- GRUPO AL-BALATITHA (1985): *Los pueblos de la provincia de Ciudad Real a través de las descripciones del cardenal Lorenzana*. Toledo, Caja de Ahorros de Toledo, 300 pp.
- HERNANDEZ PACHECO, F. (1932): *Estudio de la región volcánica central de España*. Madrid, Mem. Atad. de Ciencias Ex. Fis. Nat., Tomo III, 235 pp.
- HERNANDEZ PACHECO, F. (1949): *La tectónica peninsular y su relación con las aguas mineromedicinales*. Discurso de recepción en la Real Academia de Farmacia, Madrid, 126 pp.
- IGME (1980): Prospección geoquímica y termométrica en la provincia de C. Real. Madrid, IGME (documento s.p.).
- IGME (1986): Prospección geoquímica y termométrica en la provincia de C. Real. Madrid, IGME (documento s.p.).
- JULIVERT, M. et al. (1983): "La estructura de la extensión SE de la zona centroibérica con metamorfismo de bajo grado", *Libro Jubilar J.M. Ríos*, T I, pp. 477-490.
- KUHFUSS, A. (1984): "Caractéristiques du thermalisme des Corbières", *Revue de Géologie dynamique et de Géographie physique*, vol. 25, pp. 349-360.
- LIMON MONTERO, A. (1697): *Espejo cristalino de las aguas de España*. Alcalá de Henares, 432 pp. (reed. fasc. por IGME, Madrid, 1979).
- LOPEZ DE AZCONA, J.M. (1982): "Las aguas minerales de España, su industrialización", *Boletín Geológico y Minero*, T. XLIII-III, pp. 261-286.
- MADOZ, P. (1845-1850): *Diccionario geográfico-estadístico-histórico de España y sus posesiones de ultramar*. Madrid. (reed. facsimil de Castilla-La Mancha en II tomos por Ambito Ediciones, Valladolid, 1987).

- MARIA RUBIO, P. (1853): *Tratado completo de las fuentes minerales de España*. Madrid, 740 pp.
- NABOKO, S.I. (editor) (1982): *Hydrothermal mineral-forming solutions in the areas of active volcanism*. New Delhi, Oxonian Press, 295 pp.
- POBLETE PIEDRABUENA, M.A. (1989): "Contribución al estudio geomorfológico de las costras ferromanganesíferas del Campo de Calatrava (C.Real)", *Actas del XI Congreso Nacional de Geografía*, t.II, pp. 326-335.
- POBLETE PIEDRABUENA, M.A. (1991): "Morfología de los cráteres explosivos pliocenos del Campo de Calatrava (C.Real): subcuenca de Corral de Ctiva-Poblete y de Alcolea de Ctiva.", *Ería*, nº 26, pp. 179-198.
- POBLETE PIEDRABUENA, M.A. (1991): "Morfología volcánica y secuencia eruptiva del cráter explosivo de la Posadilla (Campo de Calatrava, C.Real)", *VIII Reunión Nacional sobre Cuaternario*, Valencia, 16-20 de septiembre de 1991.
- RELACIONES HISTORICO-GEOGRAFICO-ESTADISTICO DE LOS PUEBLOS DE ESPAÑA HECHOS POR INICIATIVA DE FELIPE II. Ciudad Real. (reed. fasc. del C.S.I.C., Madrid, 1971, 618 pp.)
- RIBA, O. (1975): "Geotermismo de la zona volcánica de Olot. Nota preliminar sobre posibilidades geotérmicas", *Boletín Geológico y Minero*, T. LXXXVI-I, pp. 45-62.
- RITTMANN, A. (1963): *Les volcans et leur activité*. Paris, Masson, 461 pp.
- ROIZ VEGAS (1979): La estructura y la sedimentación hercínica, en especial del precámbrico superior en la región de Ciudad Real-Puertollano. Tesis Doctoral inédita, U.C.M., 279 pp.
- ROMERO, C.; QUIRANTES, F. y MARTINEZ DE PISON, E. (1986): *Los volcanes. Guía Física de España*. Madrid, Alianza Editorial, 256 pp.
- SCHOELLER, H. (1962): *Les eaux souterraines*. Paris, Masson.