

Mineralizaciones de hierro en el travertino de Lanjarón (Granada)

R. ARANA*(1), F. LÓPEZ-AGUAYO*, N. VELILLA*, y
M. RODRÍGUEZ GALLEGÓ*

* Departamento de Cristalografía y Mineralogía, Universidad de Granada y Departamento de Investigaciones Geológicas de Granada (C.S.I.C.).

(1) Dirección actual: Departamento de Geología, Facultad de Ciencias, Murcia.

ABSTRACT

The iron and manganese mineralizations in the travertine of Lanjarón (Granada province) fundamentally consist of goethite and ferrihydrite together with amorphous iron hydroxides and manganese oxides. The travertine which basically calcitic occasionally contains aragonite.

Deposition of these materials is related to the chemical characteristics of the mineralized spring waters of this area and with the presence of *Gallionella* and *Leptothrix* bacteria.

RESUMEN

Las mineralizaciones de hierro y manganeso del travertino de Lanjarón (Granada) están constituidas fundamentalmente por goethita y ferrihidrita, junto a hidróxidos amorfos de hierro y óxidos de manganeso. El travertino esencialmente calcítico contiene eventualmente aragonito.

El depósito de estos materiales está relacionado con el quimismo de las aguas minero-medicinales de la zona; así como, con la presencia de bacterias de los géneros *Gallionella* y *Leptothrix*.

INTRODUCCIÓN

Las mineralizaciones estudiadas en este trabajo presentan unos rasgos netamente distintos del contexto general de los yacimientos de Sierra Nevada, estudiados por uno de nosotros (Arana, 1973), tanto por su quimismo y génesis como por su morfología y composición. En efecto, su origen constituye un episodio relativamente reciente —que aún continúa— con una estrecha vinculación a diversas surgencias de aguas minerales próximas y al desarrollo local de un potente travertino.

Las mineralizaciones de hierro presentan un contenido variable de manganeso y han sido objeto de una explotación a pequeña escala que destinaba el producto para la fabricación de pinturas. Los trabajos de arranque de estos ocres cesaron hace unos diez años, tanto por la escasa comercialización del producto como por una situación poco propicia para una mecanización adecuada; de hecho esta mina carece de acceso para vehículos pese a su inmediata proximidad a un núcleo urbano y sólo existe una estrecha vereda.

El yacimiento se encuentra cerca del perímetro de protección del manantial de la Capuchina, junto a la margen izquierda del Barranco Salado (fig. 1). Las coordenadas geográficas correspondientes a la mina son: 36° 55' 0" N y 3° 29' 15" W (coordenadas Lambert x, 617.7 e y, 257.8).

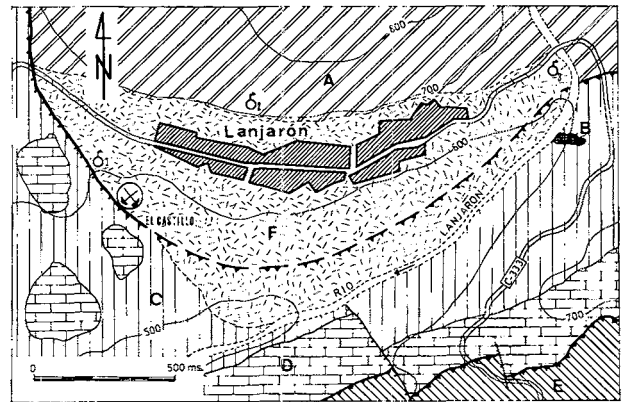


Fig. 1. Situación geográfica y geológica.

Complejo de Sierra Nevada (Unidad de Lanjarón): A, micasquistos, cuarcitas y gneises. Complejo Alpujarride, manto de Lújar: B, calizas y dolomías; manto de Cástaras: C, filitas y cuarcitas; D, calizas y dolomías; manto de Alcázar: E, filitas y cuarcitas.

Materiales postorogénicos: F, travertino y aluviones.

(Terminología de Aldaya, 1969 y Puga et al., 1974). Fuentes minero-medicinales: 1. Capuchina; 2. Capilla; 3. Rincón del Molino n.º 2, Rincón del Molino n.º 3 y Capuchina del Río.

ANTECEDENTES

Ya desde el siglo XIX se encuentran referencias sobre los materiales considerados. Así, Arévalo y Baca (1876) y Von Drasche (1879) indican la existencia de óxidos de hierro ligados a las aguas minerales de la zona, y citan la aparición de eflorescencias de sulfatos y vetas de aragonito.

Con posterioridad sólo se encuentran las citas de Guardiola y Sierra (1928) y de Albacete Medicuti (1946) quienes realizan breves menciones de estas mineralizaciones, con referencia al nombre de la concesión y a la instalación de un lavadero-secadero para beneficiar el ocre y eliminar el manganeso. Por último, estas mineralizaciones quedan recogidas en el Mapa Metalogenético de España E: 1:200.000 (Hoja n.º 83, Granada-Málaga) con el nombre de «Castillo» y una reseña de los parámetros básicos (morfología, quimismo, roca encajante y datos económicos).

SITUACION GEOLOGICA

Las mineralizaciones se encuentran localizadas en un travertino, cuya potencia y desarrollo es poco frecuente en el área de Sierra Nevada. Se extiende entre el Barranco Salado y el Río Lanjarón del Complejo de Sierra Nevada (denominación de Díaz de Federico y Puga, 1976) y los mantos de Alcázar y Murtas del Complejo Alpujarride (terminología de Aldaya, 1969). Los materiales de aquella unidad están constituidos principalmente por micascitos epidóticos con algunos niveles de gneises y cuarcitas. Los mantos alpujarrides comportan aquí una formación basal de metapelitas (filitas y cuarcitas), seguida de una potente formación carbonatada (calizas y dolomías recristalizadas).

Alternantes con las capas de travertino existen niveles detríticos, sobre todo conglomeráticos y arenosos, con una disposición subhorizontal. En numerosos afloramientos se observan pequeños reajustes al substrato que se traducen en fallas de pequeño salto y capas inclinadas hasta unos 30°, particularmente en el entorno del yacimiento.

En las proximidades al contacto del travertino hay numerosas surgencias de aguas minero-medicinales —más de 40 manantiales declarados en toda el área— de las que se han estudiado las presumiblemente más relacionadas con las mineralizaciones objeto de este trabajo para completar los aspectos físico-químicos del mismo.

El yacimiento de hierro ocupa una pequeña depresión en la ladera travertínica de Lanjarón y aparece como masas de ocre interstratificadas con la caliza, de tonos amarillos, pardos y hasta negros, según la abundancia de óxidos de manganeso.

El grado de compacidad aumenta con el contenido en carbonato cálcico; se observan zonas poco coherentes, de hasta 2 y 3 m. de potencia con una ley en hierro superior al 50 %, intensa coloración parda y una continuidad lateral de más de una decena de m. Dentro de una capa mineralizada es frecuente la aparición de lentejones y masas de travertino e incluso se observa un paso lateral entre ambos materiales (foto n.º 1). En un nivel carbonatado se encontró una concreción centimétrica de hematites especular, con tamaño de grano grueso, aunque esta especie está muy poco representada en el yacimiento.

La distribución del manganeso es muy irregular, tanto en sentido lateral como vertical. Acompaña en escasa proporción a las masas de ocre y también se individualiza en delgadas capas que pasan a ambos lados a óxidos de hierro (foto n.º 4); el contenido oscila entre un 5 a un 10 %, según las zonas.

La explotación ha consistido en trabajos a cielo abierto y algunas labores de interior, con un pozo central y galerías laterales practicadas en la masa de ocre. El mineral se subía mediante una pequeña grúa a una plataforma superior, donde se eliminaban los fragmentos ricos en manganeso y los restos de travertino y después se pasaba al lavadero-secadero.

ESTUDIO MINERALOGICO

En conjunto, la mineralogía del yacimiento está formada por oxihidróxidos e hidróxidos de hierro, en gran parte amorfos o con un grado de cristalinidad muy bajo e impurezas de óxidos de manganeso de similares características. La ganga está formada por calcita y cantidades menores de mica blanca, caolinita, cuarzo y eventualmente aragonito.

Todas las muestras recogidas se analizaron por difracción de rayos X; las más compactas —generalmente travertinos— se pudieron estudiar en lámina delgada. De algunos ejemplares representativos se hizo fluorescencia de rayos X y análisis químicos; por último se estudiaron dos muestras por espectrografía de infrarrojos para confirmar la existencia de ferrihidrita en la masa mineralizada, inferido de los diagramas de difracción. En estos diagramas se confirma la existencia de las bandas de absorción establecidas por Towe y Bradley (1967).

TABLA 1

Composición de las muestras de travertino

Muestra	Difracción de Rayos X					Fluorescencia de Rayos X					
	Cc	Ar	Q	Mica	Goet	Fe	Mn	Sr	Ba	Zn	Cu
L-E	MA	-	-	-	-	MA	A	A	-	I	I
(x) L-E-1	MA	-	-	E	MA						
L-F	MA	-	-	-	-	MA	MA	MA	MA	I	I
(x) L-F-1	MA	-	-	-	A						
L-G	MA	-	-	-	-	MA	E	A	-	I	-
(x) L-G-1	MA	-	-	-	A						
L'-3	MA	-	E	E	-						
L'-4-1	MA	E	-	-	-						
L'-4-2	MA	I	-	-	-						

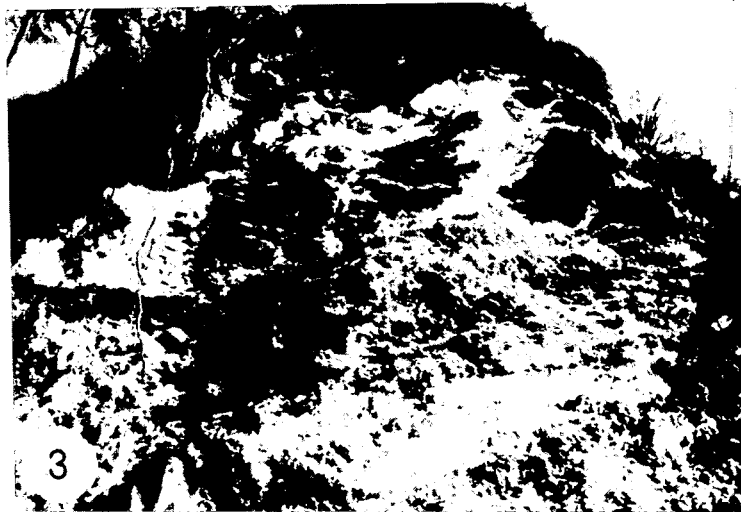
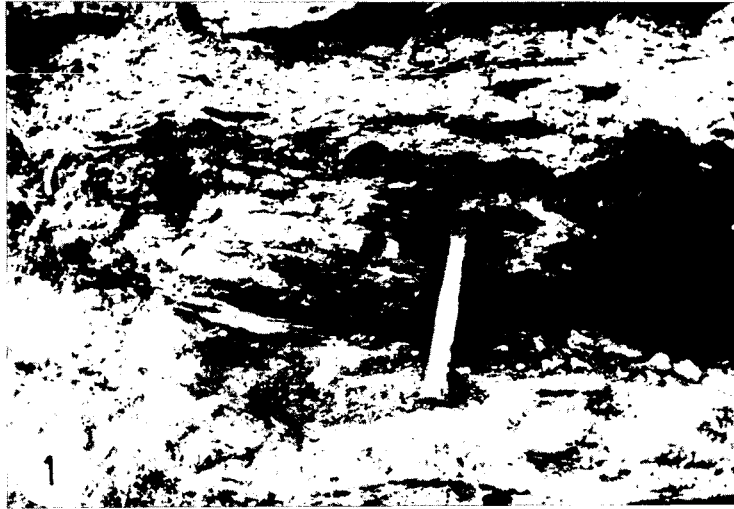
Cc, calcita; Ar, aragonito; Q, cuarzo; Goet., goethita
MA, muy abundante; A, abundante; E, escaso; I, indicio; -, ausente
(x), Parte mineralizada de la muestra de travertino

Las especies identificadas por rayos X son: goethita, hematites, ferrihidrita, pirolusita, psilomelana, calcita, cuarzo, caolinita, mica blanca y aragonito.

En la Tabla 1 se recoge la mineralogía del travertino a lo largo de un muestreo en los bordes de la zona mineralizada. Como se observa de los datos de fluorescencia, algunas calizas contienen impurezas muy apreciables de Mn, Fe, Sr y Ba y cantidades menores de Cu y Zn, elementos que deben sustituir al Ca en la red o encontrarse eventualmente en los intersticios. Algunas muestras de travertino están parcialmente mineralizadas por hierro (goethita) con una distribución homogénea o sólo concentrada en las partes más porosas.

En un corte fresco de la roca se observa una estructura bandeada como consecuencia de una cristalización rápida y casi continua sobre un soporte de naturaleza variable (restos vegetales, óxidos de hierro, granos de cuarzo, etc.) en capas sucesivas de carbonato cálcico de espesor muy pequeño, normalmente entre 0,5 y 1 mm., con una tendencia a aumentar el tamaño de grano hacia el techo de la lámina. Cada unidad de esta secuencia de crecimiento comienza por agregados fibrosos muy finos, con un aumento progresivo de tamaño hasta llegar a cristales milimétricos. No hay una completa uniformidad en el número de láminas que integran cada capa y el crecimiento dista de ser homogéneo en diferentes partes de una muestra, con lo que se pierde parcialmente el paralelismo entre láminas sucesivas. En los espacios interlaminares se deposita una fina película de hidróxido de hierro, congruente con el carbonato cálcico y ocasionalmente llega a alcanzar un espesor de 2 mm.; también ocupa los intersticios de la trama, junto a una generación posterior de calcita. En las microfotografías 5 a 12 se ofrecen algunos aspectos texturales complementarios.

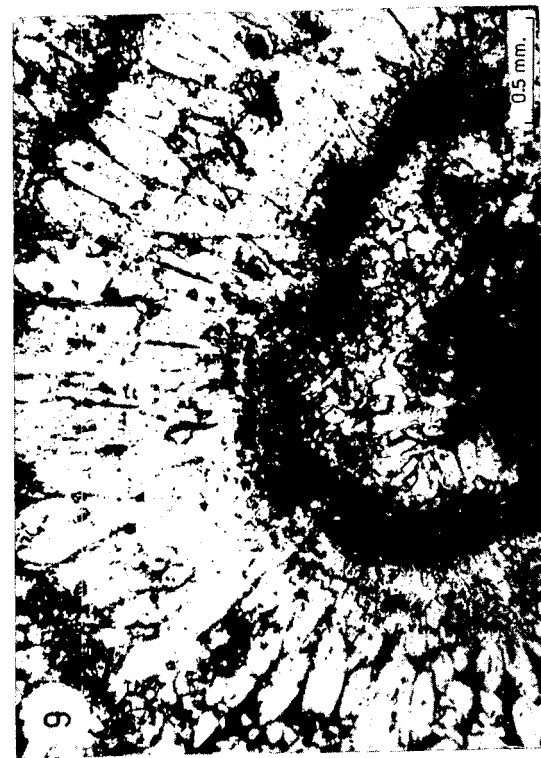
La alta velocidad de depósito de carbonato cálcico se puede seguir midiendo el espesor alcanzado en algunos puntos de referencia en el curso de las aguas a intervalos de 2 o 3 meses. En la foto n.º 2 se observa el crecimiento de



Fot. 1.-Lentejón de travertino interestratificado en la masa de ocre. Mina El Castillo. Fot. 2.-Formación actual de travertino y óxidos de fierros a partir de aguas minero-medicinales. Barranco salado a unos 130 m. al norte de Lanjarón. Fot. 3.-Alteración de micasquitos por la acción de aguas minerales. Camino forestal de Lanjarón, cerca de la estación meteorológica. Fot. 4.-Paso lateral de óxidos de hierro a óxidos de manganeso. Mina El Castillo.



Fot. 5.-Crecimiento continuo de calcita en finas láminas paralelas con impregnaciones de óxidos de hierro. Polarizadores cruzados. Fot. 6.-Secuencia rítmica en el depósito de calcita y óxidos de hierro. Polarizadores cruzados. Fot. 7.-Alternancia de bandas ricas en óxidos de hierro y otras en calcita. Polarizadores cruzados. Fot. 8.-Diseminación de óxidos de hierro y manganeso en los intersticios del travertino. Polarizadores cruzados.



Fot. 9.-Núcleo de cristalización en calcita y cuarzo, envuelto por una capa de óxidos de hierro y manganeso, sobre la cual crece el carbonato cálcico en haces prismáticos y fibrosos. Un polarizador. Fot. 10.-Idem, en polarizadores cruzados. Fot. 11.-Cristalización tardía de calcita en las oquedades del travertino. Un polarizador. Fot. 12.-Idem, en polarizadores y cruzados.

travertino en el Barranco Salado, aguas arriba de Lanjarón. Estas surgencias de aguas minero-medicinales producen importantes modificaciones en la estructura y composición de los materiales que drenan, como se aprecia en la foto n.º 3. Las rocas sufren una progresiva desagregación, pierden su compacidad y se ven sometidas a una intensa alteración química de la que surgen nuevos minerales y se transforman otros preexistentes. El proceso más importante se puede describir como una albitización y es objeto de estudios detallados en otro trabajo.

En la tabla 2 se presenta un resumen de la composición mineralógica de la masa explotable. Destaca el predominio de compuestos amorfos de hierro, que eleva considerablemente el fondo de los diagramas de difracción, aún con radiación de Co, y el contenido siempre apreciable de manganeso.

TABLA 2
Composición de la masa mineralizada

Muestra	Difracción de Rayos X							Análisis Químico		
	Cc	Q	Mi	Go	Ps	Pl	K F/A	A %MnO	B %Fe ₂ O ₃	A+B
LA-1	A	A	A	E	-	-	MA	5,35	45,19	50,24
LA-2	A	F	E	MA	-	-	A MA	5,20	68,63	73,83
LA-5	-	-	-	MA	-	-	A MA	0,03	68,11	68,14
LA-7	MA	A	-	-	-	-	MA	10,54	52,96	63,50
LA-10	-	A	-	MA	A	F	MA	8,28	56,04	64,32
L-11	-	-	-	-	-	-	MA	Nd	Nd	
L-1	-	A	-	MA	-	-	E MA	Nd	Nd	
L-2	-	-	-	MA	A	F	MA	Nd	Nd	

Cc, calcita; Q, cuarzo; Mi, mica blanca; Go, goethita; Ps, psilometana, Pl, pirrolusita; K, kaolinita; F/A, ferrihidrita y/o amorfos

MA, muy abundante; A, abundante; E, escaso; -, ausente; Nd, no determinado

DISCUSIÓN

Tanto las mineralizaciones de hierro y manganeso como el travertino en el que aparecen interestratificadas, se han desarrollado a partir de las aguas minero-medicinales que surgen en la zona. Esta hipótesis es congruente con todas las observaciones realizadas. Las surgencias de aguas son de tipos muy variados —aún cuando se trate de puntos muy cercanos— y en consecuencia, la composición química puede diferir bastante.

En el sector de Lanjarón hay dos tipos básicos de agua: las que brotan en materiales del Complejo de Sierra Nevada, posiblemente de origen meteórico, frías y pobremente mineralizadas y las relacionadas con el Complejo Alpujárride, con gran salinidad, alto contenido en gases y generalmente termales (21 a 28 °C) y con surgencias localizadas en fallas o en el contacto entre mantos de corrimiento (Ramos Ontiveros, 1974). Se han invocado mecanismos muy diversos para explicar el origen de estas aguas, pero en el estado actual del problema no pasan de nuevas hipótesis. La complicada geología de la zona y las dificultades de observación requieren un estudio muy detallado en esta área.

De las diferentes surgencias existentes se han seleccionado cinco, por su posición en relación con los materiales considerados. Los análisis químicos correspondientes se recogen en la Tabla 3. Destacan en todas ellas los altos contenidos en cloruros, bicarbonatos, sodio y calcio, siendo también repre-

sentativos los contenidos en hierro, estroncio y magnesio.

De acuerdo con estos datos la precipitación del hierro se ha debido producir en un medio carbonatado, ya que la paragénesis más frecuente es la de hidróxido férrico con calcita y eventualmente aragonito, lo que representa, de acuerdo con los diagramas de Eh-pH de Garrels y Christ (1965), que las condiciones fueron claramente oxidantes. Efectivamente, si se considera que el $\log [\text{CO}_3\text{H}^-]$ de las aguas varía entre -1,45 y -2,28, la aparición del hidróxido férrico frente a la siderita, en el margen de pH entre 6,5 y 7,5, ocurre para valores del Eh del orden de 0,2 o superiores.

El depósito de hierro está constituido fundamentalmente por hidróxidos amorfos, ferrihidrita y goethita. Chukhrov et al. (1972) indican que la ferrihidrita es un mineral típico de precipitados geológicamente recientes. Su formación parece estar en conexión con las funciones vitales de bacterias ferruginosas tales como Gallionella, Leptothrix y Toxothrix, cuyos relictos han sido encontrados en gran número de fuentes ferruginosas con pH cercanos a 7 en diferentes zonas de la URSS. Este mineral de carácter metaestable tiende a originar las formas más estables: goethita y hematites.

En el yacimiento estudiado, así como en otras zonas de influencia de las aguas mineralizadas, se ha comprobado la presencia de bacterias que posiblemente correspondan a los géneros Gallionella y Leptothrix. En la actualidad, se ha iniciado un estudio de bacterias ferruginosas en diferentes surgencias de aguas mineralizadas de este área.

La evolución de los hidróxidos de hierro amorfos y de la ferrihidrita se realiza fundamentalmente con aparición de goethita, lo que está de acuerdo con los datos de McAndrew et al. (1975) representados en la fig. 2. Como se puede ver en

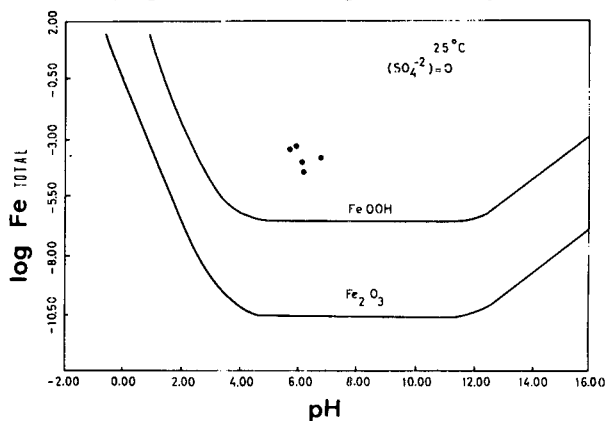


Fig. 2. Diagrama de solubilidad de goethita y hematites a 25 °C, según McAndrew et al. (1975). Los círculos representan la concentración en hierro de las aguas consideradas.

esta figura la concentración de hierro de las aguas cae dentro del campo de estabilidad de la goethita. Por otra parte, experimentos realizados para revelar la influencia del Fe^{2+} y Fe^{3+} sobre la ferrihidrita, utilizando soluciones de sulfato y bicarbonato ferrosos, entre otras, a diferente pH, han puesto de manifiesto que bajo la influencia del Fe^{2+} a pH inferiores a 7 la ferrihidrita se transforma en goethita.

El proceso de formación de los óxidos de manganeso en el yacimiento debió ser similar al de los hidróxidos de hierro. El enriquecimiento selectivo de manganeso en algunos de los niveles, puede estar en relación con la diferente velocidad de precipitación de las fases oxidadas.

En relación con el travertino, de acuerdo con Savelli y

Wedephol (1969) y Demovic et al. (1972), los parámetros que lo definen son químicos más que climáticos, es decir, su depósito está relacionado con un contenido en sales anormalmente alto, para la media de aguas continentales, fundamentalmente en calcio, estroncio, bicarbonatos, sulfatos, y otros iones. Efectivamente, como se desprende del análisis de las aguas (Tabla 3), los contenidos en calcio y bicarbonato

Tabla 3. - Análisis químicos de las aguas.
Composición iónica (mg/l)⁽¹⁾

	Capuchina	Castilla	Rincon del Molino 2	Rincon del Molino 3	Capuchina del Rto.
Li ⁺	47,99	0,54	8,00	11,00	15,00
Na ⁺	3306,68	100,09	2219,50	3337,10	2647,70
K ⁺	109,08	12,42	310,10	410,00	380,10
Mg ²⁺	330,60	17,31	120,10	150,90	126,00
Ca ²⁺	1364,56	69,75	1178,80	1477,50	1222,90
Al ³⁺	1,11	1,11	1,10	3,10	4,00
Mn ²⁺	2,44	0,71	1,30	48,00	2,00
Fe ²⁺	30,21	8,81	6,10	2,00	27,05
Sr ²⁺	72,00	2,00	52,00	70,00	60,00
Pb ²⁺	Nd	Nd	--	--	0,20
Cu ²⁺	Nd	Nd	0,10	0,20	0,10
Sr ⁸⁴	Nd	Nd	--	--	2,00
NH ₄ ⁺	Nd	Nd	0,30	0,20	0,20
Cl ⁻	7022,69	149,04	5193,10	7242,00	5857,50
Br ⁻	0,49	0,04	Nd	Nd	Nd
I ⁻	0,29	0,02	Nd	Nd	Nd
SO ₄ ²⁻	506,55	25,88	244,80	207,20	262,90
CO ₃ H ⁻	2142,18	316,85	1342,10	1403,20	1647,10
SiO ₂ libre	44,10	8,20	6,10	9,20	13,10
Mg/Ca	0,40	0,40	0,17	0,17	0,16
Sr 1000	24,10	0,65	20,17	21,67	22,40
Co					
pH	6,02	7,20	6,20	6,30	5,60
log [Ca ²⁺] _{total}	-3,27	-3,80	-3,96	-4,44	-3,31

(1) Datos facilitados por Aguas de Lanjarón, S. A. (Granada).

son muy elevados. El cálculo de las actividades iónicas, según el método descrito por Garrels y Christ (1965), ha permitido establecer que el agua de todos los manantiales, excepto el de Capilla, está sobresaturada en relación con la calcita ($\log [Ca^{2+}] \cdot [CO_3^{2-}] = -8,34$ a 25 °C).

Aunque la precipitación parece ser fundamentalmente de calcita, en algunos casos se ha observado la existencia de aragonito. La aparición de este mineral parece estar relacionada con las razones Sr/Ca y Mg/Ca. Así, si se consideran los datos de Murray (1954) y Kitano y Kawasaki (1958) para razones molares Sr/Ca entre 0,004 y 0,001 se produce un máximo de precipitación de aragonito, si bien la precipitación de calcita no queda nunca inhibida, restableciéndose de nuevo el predominio de la precipitación de calcita con cantidades crecientes de estroncio en la solución. Los valores encontrados en el presente caso para la razón Sr/Ca, se sitúan entre 0,02 y 0,006.

Por otra parte, para las razones Mg/Ca encontradas en estas aguas, podría existir una coprecipitación de ambas especies, si bien el aragonito podría posteriormente evolucionar hacia calcita.

De todo lo anterior, resulta evidente que se trata de un yacimiento estrictamente sedimentario, de precipitación química

a la que se suma una importante actividad bacteriana específica para el Fe y Mn, con depósito conjunto de los minerales de hierro y manganeso y del travertino, en relación con las surgencias de aguas mineralizadas existentes en el área. Es lógico suponer, además, que los puntos de surgencia de las aguas deben haber variado con el tiempo y con ello la zona de influencia de las mismas; de ahí resulta una acumulación preferencial de minerales de hierro en diversas partes del travertino. Los depósitos actuales de estos hidróxidos se producen únicamente junto a las márgenes del Barranco Salado y del río Lanjarón. Por otra parte, la acumulación selectiva del hierro podría también estar favorecida por una acción mecánica, representada por la remoción de hidróxidos ya depositados.

AGRADECIMIENTO. A D. Miguel Cuesta Montero, Director Técnico de Aguas de Lanjarón, S. A. por los datos de análisis de aguas facilitados.

BIBLIOGRAFÍA

- ALBACETE MENDICUTI, M. DE (1946): Minerales de hierro para color. *Minería y Metalurgia*, 60, 9-10.
- ALDAYA, F. (1969): Los mantos alpujarrides al sur de Sierra Nevada, Zona Bética, prov. de Granada. *Acta Geol. Hisp.*, 4, 5.
- ARANA, R. (1973): Investigaciones Mineralógicas en Sierra Nevada (Cordilleras Béticas, España). Tesis. *Secr. Publ. Univ. Granada*.
- AREVALO Y BACA, J. (1876): Datos geológicos y físicos del Valle de Lanjarón, provincia de Granada. *Bol. Com. Mapa Geol. España*, núm. 3, 251-256.
- CHUKHROV, F. V.; ZVYAGIN, B. G.; ERMILOVA, L. P. and GORHKOV, A. J. (1972): New data on iron oxides in the weathering zone. *Proc. Int. Clay Conference*, 333-341. Madrid.
- DEMOVIC, R.; HOEFS, J. und WEDEPHOL, K. H. (1972): Geochemische Untersuchungen an Travertinen der Slowakei. *Contr. Mineral and Petrol.*, 37, 15-28.
- DÍAZ DE FEDERICO, A. y PUGA, E. (1976): Estudio geológico del Complejo de Sierra Nevada, entre los meridianos de Lanjarón y Pitres. *Tecniterrae*, 9, 1-10.
- DRASCHE, R. Von (1879): Bosquejo geológico de la zona superior de Sierra Nevada. *Bol. Com. Mapa Geol. España*, t. VI, 353-388.
- GARRELS, R. M. and CHRIST, C. L. (1965): *Solutions, Minerals and Equilibria*. Harper & Row. New York, 450 pp.
- GUARDIOLA, R. y SIERRA, A. (1928): Hierros de Almería y Granada. *T. III*, 388-398. *Mem. Inst. Geol. Min. España*. Criaderos de Hierro de España. Madrid.
- INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA (1975): Mapa metalogénico de España E. 1:200.000. Hoja n.º 83 (Granada-Málaga). *Serv. Publ. Minist. Industria*. Madrid.
- KITANO, Y. and KAWASAKI, N. (1958): Behavior of strontium ion in the process of calcium carbonate separation from bicarbonate solution. *J. Earth Sci. Nagoya Univ.*, 6, 63-74.
- MCANDREW, R. T.; WANG, S. S. and BROWN, W. R. (1975): Precipitation of iron compounds from sulphuric acid leach solutions. *C.I.M. Bulletin*, 101-110.
- MURRAY, J. W. (1954): The deposition of calcite and aragonite in caves. *J. Geol.*, 62, 481-492.
- RAMOS ONTIVEROS, J. M. (1974): *Aguas minero-medicinales de Lanjarón*. Mem. inédita. Cátedra Hidrogeología Univ. Granada.
- SAVELLI, C. und WEDEPHOL, K. H. (1969): Geochemische Untersuchungen an Sinterkalken (Travertinen). *Contr. Mineral and Petrol.*, 21, 238-256.
- TOWE, K. M. and BRADLEY, W. F. (1967): Mineralogical Constitution of colloidal «hydrated ferric oxides». *J. Coll. Interface Sci.*, 24, N 3.

Recibido, junio 1978.