

ALTERACION ARGILICA AVANZADA DE ROCAS PIROCLASTICAS EN FUNCION DE SU ESTRUCTURA EN LA ZONA DE RODALQUILAR (ALMERIA)

J. Cuevas*, J. A. Medina*, A. Gómez Coedo** y S. Leguey*

RESUMEN

Se han estudiado diferentes procesos de alteración argílica avanzada en tobas dacíticas, ignimbritas riódacíticas y aglomerados andesíticos, observándose el desarrollo de procesos supergénicos posteriores que destacan por su influencia en la modificación de la cristalinidad y hábito de las fases silíceas y ferruginosas primarias.

En los materiales tobáceos se desarrollan alteraciones masivas zonadas en la vertical. En las zonas inferiores se observan procesos de propilitización y silicificación (cuarzo, clorita, illita \pm piritita) que evolucionan a paragénesis argílicas (illita, caolinita \pm alunita) en las zonas intermedias y a materiales silíceos cuarzoaluniticos en las zonas superiores. En la transición entre las zonas intermedias y los horizontes silíceos se desarrollan aureolas ferruginosas y corazas limoníticas. En los materiales de tipo aglomerático e ignimbrítico se desarrollan alteraciones similares con carácter fisural ligadas a zonas de intensa fracturación.

En las zonas fisurales predominan los procesos de removilización supergénica, observándose un mayor tamaño, grado de idiomorfismo y cristalinidad de agregados y cristales de cuarzo, en comparación con los niveles silíceos superiores de alteración masiva en las tobas.

En los sectores de alteración masiva, las paragénesis argílicas con alunita, presentan importantes concentraciones de Cl (0.4%), mientras que en las corazas ferruginosas se concentran Sb (30 ppm.) y As (500 ppm.). Este último también está presente en los horizontes silíceos (80 ppm.).

Se discute un modelo genético en relación con la circulación hidrotermal de aguas marinas en consonancia con ambientes geoquímicos ligados a fuentes termales. Asimismo, se analiza la influencia de los procesos supergénicos y de meteorización responsables de la removilización de los elementos traza analizados (Cl, As y Sb) junto con el Fe, así como de la evolución morfológica y de la cristalinidad de los materiales silíceos.

Palabras clave: Rocas piroclásticas, Alteración argílica avanzada, Fuentes termales, Aguas marinas, Procesos supergénicos, Rodalquilar, Cabo de Gata.

ABSTRACT

Advanced-argillic alteration process is studied in different types of pyroclastic volcanic rocks: dacitic tuffs, riódacitic ignimbrites and andesitic agglomerates located in the Rodalquilar area (Almería, SE Spain).

Tuffaceous material show massive alteration with vertical zonal patterns. In the lower zones silicification and propylitization processes (quartz, chlorite, illite \pm pyrite) predominate and evolve into advanced-argillic parageneses (illite, kaolinite \pm alunite) at intermediate zones and to a quartz-alunite rock in the upper zones. Ferric aureolae and limonitic crusts are developed between the intermediate and upper zones. Agglomeratic and ignimbritic rocks show similar alteration arranged in a more complex fissural patterns probably related to the intense fracturation displayed in that materials.

Fissural zones are characterized by the incidence of supergenic processes with an increase in the size, idiomorphism and crystallinity of quartz crystals.

Zones of massive argillic alteration with alunite show important contents in Cl (0.4%), while limonitic crusts and ferric aureolae concentrate Sb (30 ppm.) and As (500 ppm.). The Arsenic is also concentrated in quartz levels (80 ppm.).

* Depart. de Química Agrícola, Geología y Geoquímica. Fac. de Ciencias, Univ. Autónoma de Madrid.

** Cento Nac. Investigaciones Metalúrgicas, CSIC, Madrid.

A genetic model related to sea water hydrothermal flow in a «hot spring» environment is discussed. The influence of weathering and supergenic processes in the redistribution of some analyzed minor elements (Cl, As, and Sb) and Fe is discussed together with the evolution in morphology and crystallinity of siliceous minerals.

Key words: *Pyroclastic rocks, advanced argillic alteration, Hot springs, Sea waters, Weathering, Supergenic processes, Rodalquilar, SE Spain.*

Introducción

El objetivo de este estudio es analizar el modelo de alteración de diferentes rocas volcánicas piroclásticas en función de su estructura y composición, a partir del establecimiento de la distribución y evolución de paragénesis mineralógicas dispuestas en patrones zonales más o menos complejos. La diferenciación de algunos elementos traza asociados a determinados sectores de alteración, permite profundizar en el conocimiento del quimismo de los fluidos de alteración y de los procesos, tanto de carácter hidrotermal como supergénico, que tienen lugar sobre este tipo de rocas.

Las rocas volcánicas Neógenas del sector de Cabo de Gata son en su mayor parte andesitas y dacitas de carácter calcoalcalino (López Ruiz y Rodríguez Badiola, 1980). Están afectadas por importantes alteraciones de tipo hidrotermal que se manifiestan fundamentalmente en dos episodios: Uno, de carácter hidrolítico ácido (alteración argílica avanzada), se desarrolla contemporáneamente con los episodios volcánicos (Sierra y Leal, 1968); otro, de carácter neutro, produce bentonitización masiva a favor de fracturas regionales NE-SO en conexión con la circulación de aguas meteóricas geotermales postvolcánicas (Leone *et al.*, 1983). Ambos episodios afectan con mayor intensidad a rocas piroclásticas, lo que han puesto de manifiesto diferentes autores (Paez Carrión y Sánchez Soria, 1965; Lodder, 1966; y Linares, 1987).

El origen del proceso que da lugar a las paragénesis de tipo argílico avanzado, conjuntamente con procesos de silicificación, ha sido objeto de diferentes interpretaciones. Sierra y Leal (*op. cit.*) consideran la alteración en la zona aurífera de Rodalquilar como de tipo epitermal asociada a aparatos subvolcánicos profundos, y contemporánea con la mineralización. Las principales rocas encajantes serían las dacitas rojovioláceas definidas por Fúster *et al.*, (1965), Conjunto volcánico 3 definido por Pineda (1984). Sobre estas rocas se desarrollan, cerca de la superficie, estructuras brechoides «breccia-pipe» a favor de fracturas N50-60O y N60E, observándose fenómenos de zonación desde el interior al exterior de estos conductos, donde aparecen consecutivamente: cuarzo, alunita, pirita; cuarzo, ilita, caolinita; y una aureola exterior donde predominan minerales de la arcilla de 14Å (Martín Vivaldi *et al.*, 1971).

Lodder (1966) considera como principal encajante, rocas de tipo ignimbrítico (dacitas ignimbríticas con

tobas e ignimbritas basales), conjunto volcánico 4 definido por Pineda (1984). Lodder (*op. cit.*) pone de manifiesto la existencia de niveles continuos subhorizontales con paragénesis cuarzo-alunita-caolinita sin relación aparente con las estructuras mineralizadas, así como la existencia de rellenos silíceos y conductos tapizados de óxidos de hierro. Hemley *et al.*, (1969) proponen un origen singenético solfático contemporáneo con el enfriamiento de los materiales ignimbríticos, donde se produciría el enfriamiento de fluidos en ebullición junto con la condensación y oxidación de gases ricos en SH₂ provocando este tipo de alteración superficial en estos ambientes.

Friedrich *et al.*, (1984) llaman la atención sobre el hecho de que el área de Rodalquilar se hallara próxima al mar durante el período de transgresión miocena, postulando la influencia de la circulación hidrotermal de aguas marinas en la alteración y mineralización, proponiendo una génesis de tipo epitermal en los niveles más profundos con generación de ambientes de fuentes termales en superficie. También ponen de manifiesto la importancia de procesos supergénicos secundarios en las zonas superficiales fuertemente oxidadas, donde el Au se asocia con fases de jarosita y goethita. Cuevas *et al.*, (1987) encuentran, así mismo, concentraciones importantes de Cl⁻ en paragénesis primarias de cuarzo-alunita-jarosita.

En este contexto es nuestro propósito evaluar, al menos cualitativamente, la influencia del grado de consolidación, alteración mecánica y de la permeabilidad de las rocas, en el desarrollo de las vías de circulación de fluidos que marcan los diferentes modelos de su alteración en cuanto a su diferenciación mineralógica y química.

Marco Geológico

El área de Rodalquilar se sitúa en el seno de la provincia volcánica neógena del SE de España, donde predominan rocas de carácter calcoalcalino, junto a algunas rocas hipoalcalinas (andesitas basálticas) e hiperpotásicas (López Ruiz y Rodríguez Badiola, 1980). Su origen se relaciona con la formación de cuencas profundas por fracturación del basamento alpino y adelgazamiento de la corteza (Bordet y De Larouzière, 1983; Fernández Soler, 1987), desarrollándose durante el Mioceno medio hasta el Tortoniense superior, entre los 17.8 y 8 m.a. (Bellon y Brouse, 1977).

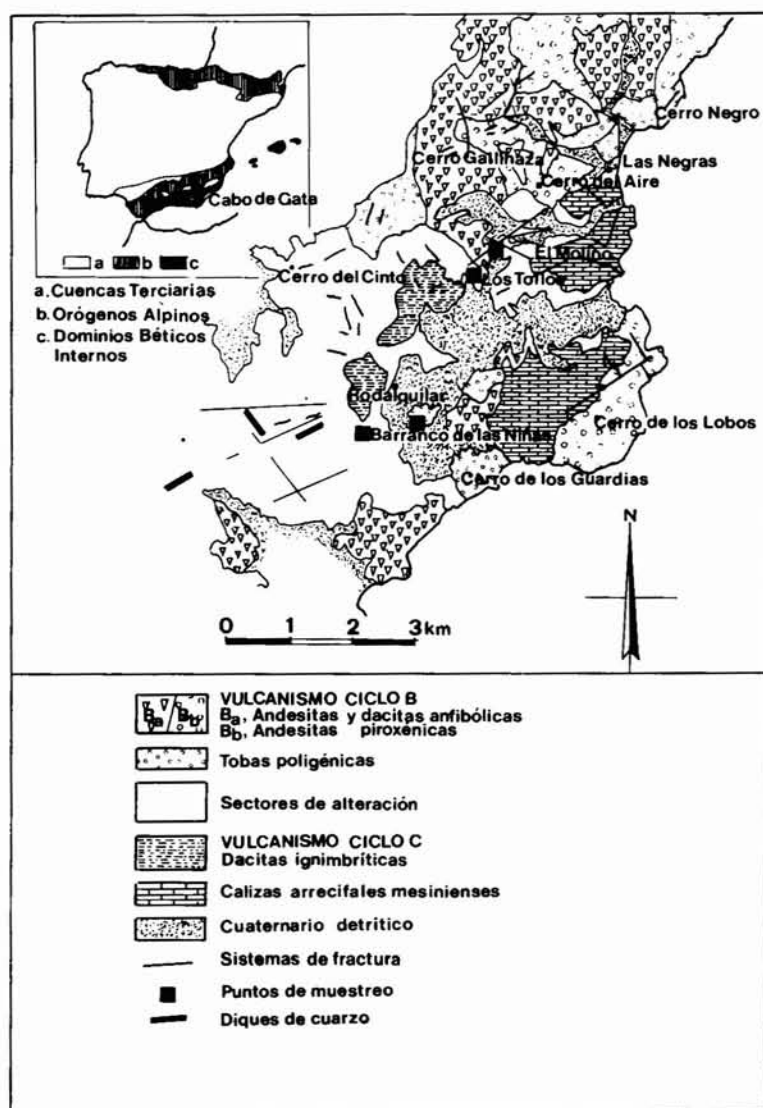


Fig. 1.—Marco Geológico según Pineda *et al.* (1983). Sucesión de ciclos volcánicos según Bordet (1985).

El establecimiento de la sucesión de episodios volcánicos en esta zona ha sido abordado por diversos autores: Fuster *et al.*, (1965) y más recientemente Hernández Soler (1987) en el área del Cerro de los Frailes; y Sánchez Cela (1968), León (1967), y más recientemente Bordet *et al.*, (1982) y Bordet (1985) en la zona de Carboneras, Las Negras y Rodalquilar. Tomando como base la síntesis realizada por Pineda *et al.*, (1983), en esta zona, la sucesión de episodios volcánicos sería la siguiente:

1) Andesitas anfibólicas y andesitas piroxénicas en facies masiva, aglomerática y tobácea, conjuntamente con tobas dacítico-riolíticas. Estos materiales emplazados durante el helveciense hasta el tortoniense medio, según los diversos autores citados, se corresponderían

con los ciclos B_a (andesitas anfibólicas) y B_b o D (andesitas piroxénicas) definidos por Bordet (*op. cit.*) y con la unidad frailes I (Fernández Soler, 1987). A estos episodios corresponden patrones de alteración estudiados en Las Negras (Molino de Carlos, Aglomerados andesíticos) y la zona del cerro de los Guardias (tobas soldadas).

2) Dacitas anfibólicas (aglomerados y masivas), discordantes sobre lo anterior y correspondiente al ciclo B_a según Bordet (*op. cit.*).

3) Dacitas rojo-violáceas. Se corresponde con la roca más comúnmente alterada en Rodalquilar. Se encuadraría dentro del tortoniense terminal en el ciclo C (Bordet *op. cit.*) correlacionable con la unidad Frailes II (Fernández Soler, *op. cit.*).

4) Discordante sobre lo anterior, y localizado en el área de Rodalquilar, dacitas ignimbríticas, sobre las cuales se ha estudiado la alteración en la zona del cortijo de los Tollos.

Durante y posteriormente al emplazamiento de este vulcanismo existen evidencias de importantes accidentes tectónicos que producen grandes movimientos en la vertical conjuntamente con fracturas de desgarre (accidente de Carboneras). La formación de cuencas ligadas a estos movimientos da lugar a la deposición inicial de evaporitas y posteriormente de calizas arrecifales durante el período tortoniense-mesiniense. En este contexto se observa la formación de olitostromas, tanto en sales (Megías, 1982), como en materiales vulcanosedimentarios en relación con los ciclos volcánicos B y C (Bordet *et al.*, 1982); e incluso la extrusión de sales a favor de fracturas distensivas N40-60E visibles al N de Rodalquilar en la Serrata de Nijar. La actividad de estas fracturas junto con el sistema conjugado N140-160 E se extiende hasta el cuaternario donde se observan fenómenos compresivos (Bousquet y Philip, 1976). En relación con estos sistemas de fractura tiene lugar el emplazamiento de diques de cuarzo mineralizados (Au), aunque también tiene importancia el sistema N-S y N110E (Friedrich *et al.*, 1984). En la figura 1 se pueden observar la síntesis geológica de la zona, así como la localización de los puntos de muestreo.

Metodología

Se han tomado muestras de distintos perfiles de alteración desarrollados sobre rocas piroclásticas: En aglomerados de andesita anfóbica (Las Negras, El Molino de Carlos); tobas de carácter dacítico (Barranco de las Niñas, y camino Cerro de los Guardianes-Rodalquilar); y materiales ignimbríticos (Cortijo de los Tollos).

Las muestras se estudiaron por difracción de rayos X en un difractor Philips 1140 con anticátodo de Cu k ($\lambda=1.5405\text{\AA}$) y filtro de Ni. La muestra total se analizó por el método de polvo, y la fracción menor a 2μ en agregado orientado saturado en Mg y solvatado con etilenglicol. Las fases cloríticas se identificaron calentando el agregado a 550°C durante 2 h. En jarositas y alunitas se obtuvo el parámetro de celdilla c_0 a partir de la reflexión d(006) ($2.8-2.7\text{\AA}$) utilizando un difractor Siemens D500 con una velocidad de barrido de $0.25\ 2\theta$ de tamaño de paso y 4s. de tiempo de medida por paso, utilizando la reflexión d(300) (4.26\AA) de cuarzo como parámetro interno de corrección. El parámetro c_0 varía entre 16.63\AA (K-jarosita) y 17.22\AA (Na-jarosita), y entre 16.75\AA (K-alunita) y 17.22\AA (Na-alunita), siendo la sustitución Na-K su principal fuente de variación (Brophy y Sheridan (1965); Menchetti y Sabelli (1976)). Con las mismas condiciones de medida se calculó el índice de cristalinidad del cuarzo (ICC) en muestras cuyo contenido es mayoritario de acuerdo con la intensidad relativa y grado de resolución de la reflexión d(212) (1.38\AA), encuadrándose en una escala de 1 a 10, tomando el valor 10 en función del patrón de difracción de cristales macroscópicos euhédricos de cuarzo según Murata y Norman (1976). Las relaciones semicuantitativas entre las distintas fases minerales se obtuvo mediante la medida del área de picos específicos en el difractograma de polvo en relación al poder reflectante de las distintas especies según Schultz (1964) y Barahona (1974).

El estudio de la textura y microfábrica de estos materiales se realizó mediante microscopía óptica de polarización en sección delgada y microscopía electrónica de barrido con sistema analítico de energía dispersiva.

Se determinaron los cloruros solubles en ácido lixiviando la muestra molida y homogeneizada como HNO_3 2N y determinando el contenido en Cl^- del extracto mediante electrodo de ion selectivo. As y Sb se determinaron mediante espectrometría de emisión en plasma con generación de hidruros acoplada de acuerdo con Kiuki y Navkapar (1984), y Larrea Martín y Gómez Coedo (1986). Tanto para la extracción del Cl^- soluble en ácido como para el ataque ácido de la muestra total se han seguido las recomendaciones de Jeffrey y Hutchison (1983).

Resultados

Alteración sobre materiales tobáceos

Se han muestreado dos perfiles de alteración aflorantes en superficie con potencias de 3 a 12 m.: Una en el barranco de las Niñas, al S de Rodalquilar, y otra, más avanzada, en la falda del cerro de los Guardianes al SE. El aspecto de campo de ambas es semejante, predominando cantos centimétricos subredondeados, alineados y soldados a la matriz en las zonas inferiores, y, a medida que se asciende en la vertical, estructuras compactas laminares que reemplazan la estructura original. El desarrollo del perfil de ambas secuencias con su evolución mineralógica, así como los valores de los parámetros cristaloquímicos y de los elementos traza analizados se pueden observar en la figura 2.

Zona del Barranco de las Niñas

Esta secuencia no muestra en su totalidad una alteración de tipo argílico avanzado, pudiéndose observar tres zonas diferenciadas en la vertical (Figura 2b):

— *Unidad inferior*: Se caracteriza por presentar una alteración de tipo propilítico (clorita, illita, pirta y cuarzo), observándose silificación diferencial en piroclastos, que presentan una matriz donde predomina el cuarzo criptocristalino. La pirta aparece en pseudomorfo sustituido por óxidos de hierro.

— *Zona intermedia*: Se caracteriza por la aparición de caolinita y alunita en mayor o menor medida en función del descenso en el contenido en illita.

— *Zona superior*: Comienza con la presencia de alunita masiva en forma de nódulos (tamaño cristalino 2μ) en una matriz en disposición laminar poco compacta, fisurada y cementada por hematites. Este tramo precede a un paquete final muy compacto donde predominan fases de cuarzo criptocristalino (I.C.C., 3.5), desapareciendo la illita por completo.

La sanidina perdura en toda la serie en proporciones constantes excepto en zonas con mayor desarrollo de la fase alunitica. Es de destacar la coexistencia de sanidina, illita, caolinita y alunita, implicando la existencia de fenómenos rápidos de alteración en condiciones de no equilibrio, siendo la illita la fase más inestable en el proceso, correlacionándose negativamente con la aparición de alunita.

En la zona inferior se conserva la textura original observándose abundantes componentes clásticos (cuarzo, sanidina) y piroclastos fracturados con abundantes pseudomorfos de pirta en esta zona y a medida que se avanza en la intermedia se observa la sanidina sericitizada, y progresivamente reemplazada por caolinita. Hacia las zonas superiores se produce una visible transformación de la estructura original a estructuras de tipo laminar que se traducen en texturas de flujo apareciendo bolsadas y nódulos aluniticos, precediendo a un nivel con una importante silificación. En este último tramo es característica la presencia de pseudomorfos de sanidina reemplazados por cuarzo criptocristalino.

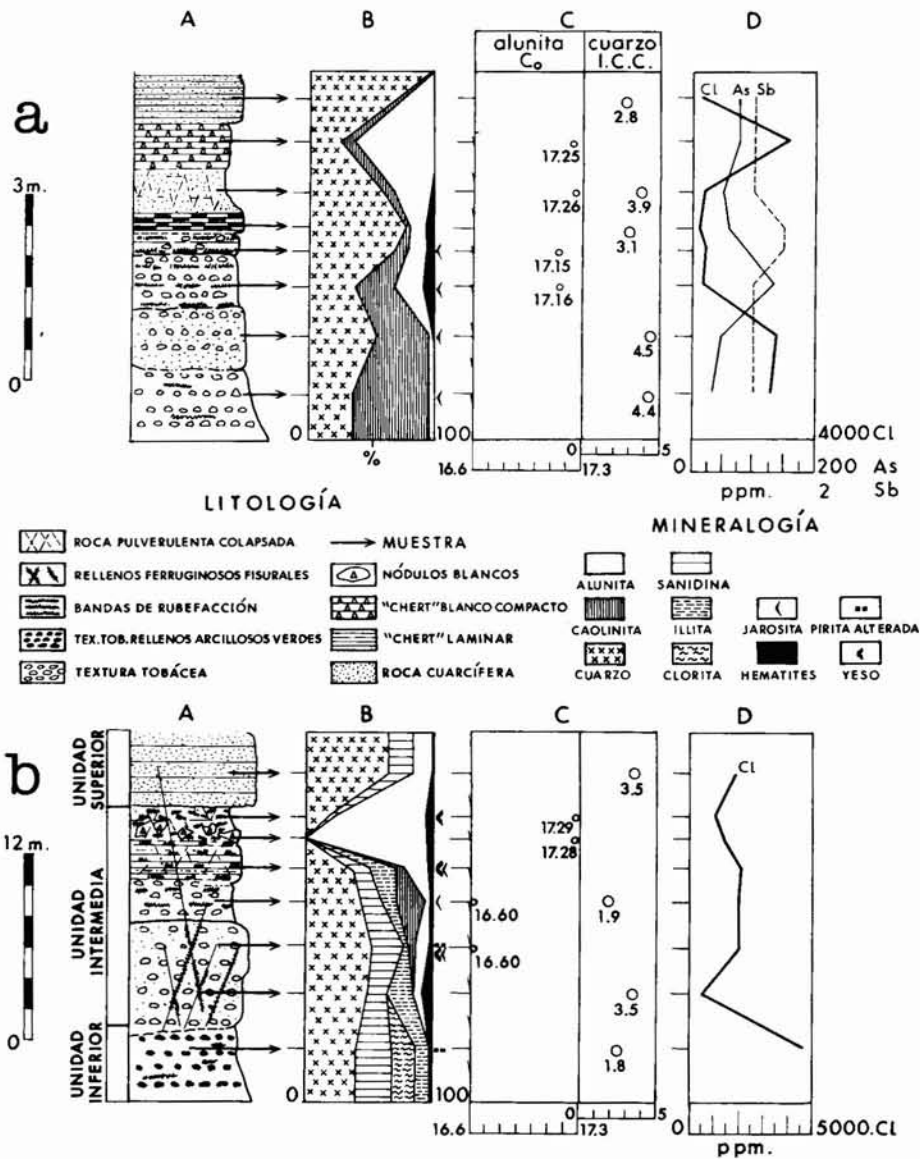


Fig. 2.—Alteración sobre materiales tobáceos: a) Cerro de los Guardias. b) Barranco de las Niñas. A) Perfil de alteración. B) Composición mineralógica. C) Parámetro de celdilla c_o ($d_{006} \times 6 \text{ \AA}$) en alunita y jarosita. Índice de cristalinidad de cuarzo (I.C.C.): Escala de 1 a 10 en función de la intensidad relativa y resolución de la reflexión d_{212} según Murata y Norman (1976). D) Oligoelementos analizados (Cl, As, Sb).

Esta evolución mineralógica parece indicar una superposición de una alteración de tipo hidrolítico ácido, con generación de fases caoliniticas, aluniticas y silíceas sobre una alteración de tipo sericítico preexistente. Esto implicaría un cambio drástico en las condiciones de alteración, ya que la alteración sericítica es característica de medios más profundos que los originados en ambientes de fuentes termales (Rose and Burt, 1979), donde es más característica la alteración de tipo argílico avanzado.

Zona del Cerro de los Guardias

En esta secuencia de tres metros de potencia se observa un mayor grado de alteración, que se pone de manifiesto en una

paragénesis sencilla de cuarzo, caolinita y alunita con ausencia de illita y sanidina (figura 2a).

En la base de la secuencia predomina la caolinita con texturas vermiformes de gran desarrollo reemplazando grandes fenocristales. En los niveles más superiores predomina la alunita en forma de paquetes centimétricos con rellenos lenticulares que presentan texturas de flujo intercalándose con niveles masivos de cuarzo criptocrystalino (I.C.C., 2.8) de textura laminar con recristalizaciones en poros de individuos con hábitos alargados subidiomorfos (Lámina 1a). Al igual que en la serie anterior la aparición de estas paragénesis se asocian a la desaparición de la textura volcánica original a medida que se produce una mayor diferenciación mineralógica.

La evolución de las paragénesis descritas en esta secuencia es

típica de la alteración hidrolítica ácida en ambientes de fuentes termales. El proceso cíclico de aporte de fluidos de gran acidez produciría la alteración progresiva de fases de tipo illita-caolinita-sanidina. Al perder la roca su capacidad reguladora del Ph al lixiviarse los elementos alcalinos y alcalinotérreos de las fases mineralógicas preexistentes, se conservaría la acidez de estos fluidos, precipitando únicamente alunita. En estas condiciones ($\text{Ph} < 4$) se inhibiría la precipitación de la sílice (Fournier, 1985), que lo haría en los niveles superiores al decrecer la temperatura. Las oscilaciones del nivel freático (tabla de agua en ebullición) podrían ocasionar la existencia de ritmos alunita-cuarzo como se puede observar en esta secuencia.

La composición de la alunita presenta dos tendencias, una de carácter natroalunitico (c_0 , 16.6-17.1A), que ocupa zonas intermedias, y otra de carácter potásico (c_0 , 17.25A) coincidiendo con niveles masivos superiores. Esta última se generaría como producto de alteración masiva de las fases illita-sanidina, mientras que la fase rica en Na se produciría por alteración de la caolinita en niveles intermedios, con aportes ricos en Na posteriores, en medios ácidos más agresivos.

El Cl se concentra en niveles de alteración argílicos, decreciendo notablemente en las zonas con cuarzo y con cementaciones ferruginosas.

El As está relativamente concentrado en niveles silíceos superiores, asociándose en mayor grado a sectores ferruginosos que preceden al desarrollo de los paquetes cuarzoaluniticos. Estos paquetes presentan poca compactación, y estructura pulverulenta, evolucionando a estructuras rítmicas más compactas y ricas en alunita en la transición a los niveles de cuarzo criptocristalino (se han denominado «chert» como término de campo). Este fenómeno puede atribuirse a la disolución de fases de sulfuros dispersos, produciendo la cementación ferruginosa en los niveles intermedios.

La característica más significativa en el proceso de alteración estudiado sobre todas volcánicas es la continuidad y homogeneidad de las secuencias horizontales y la casi total ausencia de estructuras fisurales o brechoides. El carácter permeable de la estructura original de las tobas facilitarían los procesos de sustitución y precipitación masiva controlados por la tabla de agua, conservándose algunos relictos de la textura original.

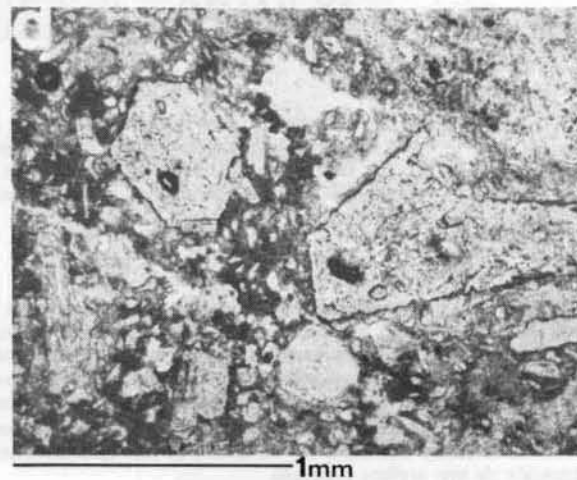
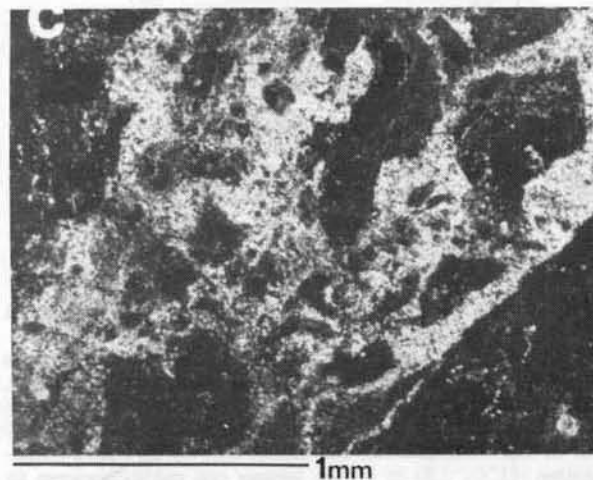
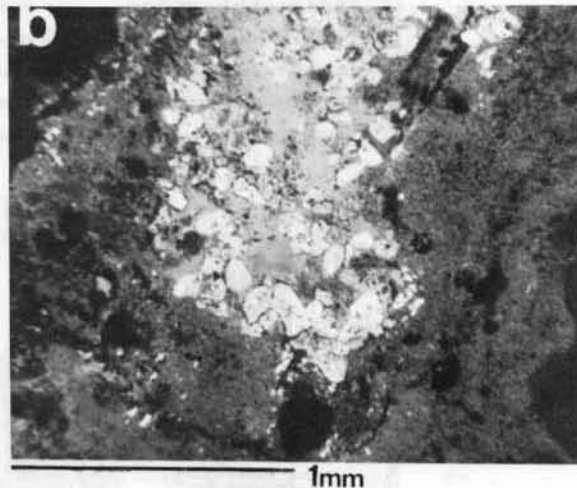
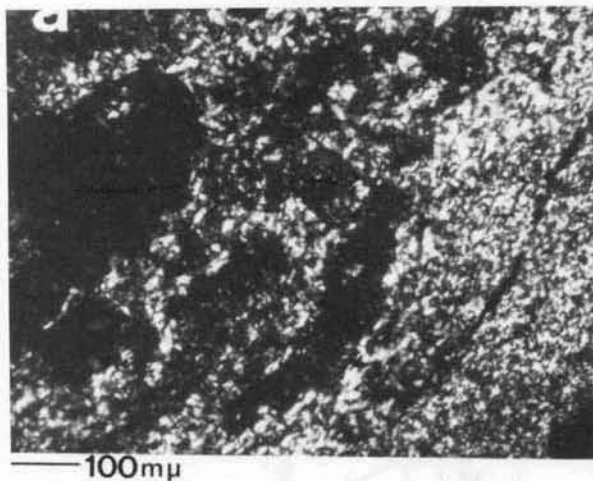


Lámina I.—Texturas. Ia: «chert» laminar. Zonas porosas con cuarzo recrystalizado en hábitos tabulares alargados. Nícoles cruzados.—Ib: Individuos de cuarzo idiomorfo prismáticos bipiramidales. Anillos de difusión. Nícoles cruzados.—Ic: Microbrecha jarosita-ópalo CT. «Chert» jarosítico. Nícoles cruzados.—Id: Relictos de fenocristales en textura porfídica. Reemplazamiento por texturas porosas. «Chert» blanco poroso. Nícoles paralelos.

Alteración sobre materiales ignimbríticos

Se ha estudiado un afloramiento en las inmediaciones del Corujo de los Tollos, habiéndose estudiado un perfil de 20 m de potencia accesible en superficie. Se trata de un sector de alteración complejo donde se refleja la influencia de varios sistemas de fractura subhorizontales, inclinados y verticales que originan una estructura de bloques colapsados en cuyos márgenes se desarrollan brechas con cementaciones ferruginosas o jarosíticas. El esquema estructural del afloramiento, así como la mineralogía, parámetros cristalocímicos y los elementos traza analizados se pueden observar en la figura 3.

Se han diferenciado tres unidades en la vertical atendiendo a su semejanza con la distribución de la alteración descrita en los materiales tobáceos:

Unidad superior: Se caracteriza por el predominio de rocas de tipo «cuarzo poroso» que pasan a ser cuarzo aluniticas (\pm caolinita) en rocas infrayacentes. Coincidiendo con la transición hacia la unidad inferior aparecen rellenos centimétricos en fisuras con generación de jaspes, así como costras y corazas ferruginosas brechoides compuestas casi exclusivamente por hematites y cuarzo.

Unidad inferior: Se caracteriza por la existencia de rellenos de caolinita-alunita \pm cuarzo en forma de bolsadas lenticulares alineadas en la dirección del flujo de las coladas ignimbríticas. Esta estructura se ve afectada por fracturas (N-S) con desplazamiento en la vertical donde se instalan brechas cuarzo-jarosíticas que ocupan el espejo de falla, originándose la formación de nódulos jarosíticos en las bolsadas afectadas por la fractura. También se observa el desarrollo de filones decimétricos subverticales y horizontales afectando a la estructura en bolsadas. Los primeros están formados por rellenos muy compactos verdosos de dickita y alunita y los segundos, sólo observables en las zonas más inferiores, por pirofilita, dickita y alunita.

Es significativo el desarrollo de fenómenos de difusión de óxidos de hierro en forma de anillos de Liesegang y rellenos de tipo jaspe (lámina 2b) en las paragénesis argílicas, y especialmente en las cuarzo-aluniticas. Estos procesos de removilización supergénica se encuentran asociados con fases de cloruros (halita, lámina 2a), destacando, en este tipo de rocas, el marcado desarrollo en la morfología de cristales individualizados de cuarzo con tamaños de 20-60 μ , que aparecen con hábitos idiomorfos prismáticos bipiramidales (lámina 1b) en las zonas porosas que preceden a los frentes de difusión de óxidos. En estas zonas se observa agregados de caolinita vermiforme conjuntamente con rellenos de halita.

El mayor grado de idiomorfismo y cristalinidad de los cuarzos se encuentra en la unidad superior, donde aparecen individuos maclados con gran desarrollo de caras en una fábrica porosa (lámina 2c), correspondiéndose con el máximo índice de cristalinidad (I.C.C., 6.8). Individuos semejantes afectados por fenómenos de dislocación, figuras de corrosión y recrecimientos (lámina 2d) aparecen en zonas brechificadas, evidenciando el carácter intermitente de los procesos de disolución-precipitación ligados a la actividad tectónica.

Las jarositas y alunitas presentan carácter sódico a la vista de los valores del parámetro de celdilla c_0 (16.6Å, 16.9Å, respectivamente), lo que indica su posible formación en un ambiente donde los elementos alcalinos y alcalinotérreos han sido lixiviados, existiendo aporte de aguas hidrotermales ricas en Na.

Se observan altas concentraciones de Cl, As y Sb en los sectores asociados a la unidad inferior, fundamentalmente en relación con los fenómenos de difusión de óxidos de hierro. Estas rocas están afectadas por múltiples planos de deslizamiento a nivel microscópico (microfisuras de desgarre), hecho que facilitaría la evolución progresiva de la alteración supergénica. En los anillos de difusión se observan las mayores concentraciones de As y Sb. El As muestra mayor movilidad al presentarse concentrado en las brechas cuarzo-hematíticas, así como en los márgenes exteriores de los anillos de difusión. El Sb se muestra más inmóvil, concentrándose en las zonas interiores, donde se observan pseudomorfos de piritita alte-

rados. También se concentra en nódulos de jarosita en las bolsadas afectadas por fracturas, asociándose de esta manera a los procesos de alteración hidrotermal primarios.

Alteración sobre aglomerados de andesita anfibólica

La alteración sobre estos materiales se ha estudiado en una franja continua asociada con la dirección de fractura N35-40 en el margen izquierdo de la carretera Las Negras-Rodalquilar, en la zona del Molino de Carlos. Sobre estos materiales se desarrolla un perfil irregular de alteración desde zonas topográficamente más bajas afectadas por alteración bentonítica, de origen posterior a la estudiada, hacia las zonas de mayor cota donde presentan rasgos mineralógicos afines a los otros afloramientos. La estructura del perfil, evolución mineralógica, parámetros cristalocímicos, así como la distribución de Cl, As y Sb se pueden observar en la figura 4.

La distribución de los niveles de alteración se puede diferenciar en dos unidades, una inferior, donde coexisten rellenos filurales jarosíticos con alteración bentonítica; y otra superior con alteración argílica avanzada de carácter masivo. Estas unidades se encuentran separadas por un tramo brechoide de bloques colapsados compuestos por brechas cuarzo-caoliniticas cementadas por jarosita y ópalo CT con rellenos de yeso fibroso en la base de contacto con la unidad inferior.

Unidad inferior: En las zonas inferiores aparecen bloques de roca con alteración bentonítica con silicificación parcial (cristobalita $d(101)=4.05\text{Å}$), presentando una densa red de diaclasas con natrojarosita, primero centimétricas, pasando a decimétricas, y a encostramientos en el sector superior donde coexiste con rellenos de yeso y nódulos de cuarzo-caolinita-hematites, paragénesis característica del tramo brechoide intermedio.

En el estudio de lámina delgada de las zonas inferiores se puede reconocer la textura porfídica de la roca original con fenocristales de plagioclasa o anfíboles alterados en una matriz de carácter criptocristalino donde se observan abundantes texturas vacuolares. Las vacuolas están bordeadas por material arcilloso, y engloban fases criptocristalinas de menor birrefringencia. Esta roca puede estar débilmente afectada por la alteración de tipo hidrolítico ácido, que posiblemente influiría en la desvitrificación inicial de la matriz, que posteriormente sufriría el proceso de bentonitización.

Unidad brechoide: En la zona intermedia, de carácter brechoide, se reconocen relictos de la roca original (fenocristales de anfíbol isotropizados con rellenos jarosíticos en líneas de exfoliación), en una matriz constituida por cuarzo y caolinita cementada por microvénulas (20-50 μ) de natrojarosita. Este sector es muy heterogéneo, observándose clastos de grandes dimensiones ricos en cuarzo criptocristalino recristalizado en zonas porosas, como se puede ver en el detalle de fábrica de la lámina 2e, con hábitos en forma tabular de individuos no maclados. A medida que se asciende en este sector, en la transición a los niveles de alteración masiva de la unidad superior se observan estructuras lenticulares muy compactas, alimentadas por numerosas vénulas jarosíticas, constituidas por microbrechas cementadas por ópalo CT $d(101)=4.08\text{Å}$ y natrojarosita («chert jarosítico», lámina 1c). En esta unidad es común el desarrollo en bordes de clastos, así como en torno a vénulas de jarosita de cementaciones hematíticas.

Unidad superior masiva: A partir de la unidad anterior se produce una alteración masiva de la roca encajante originándose paragénesis de tipo ópalo CT-cuarzo-caolinita-alunita, diferenciándose además niveles con estructuras laminares constituidos por fases silíceas de distinta cristalinidad. En primer lugar se observan horizontes porosos de débil densidad compuestos principalmente por ópalo CT ($d(101)=4.10\text{Å}$), y en menor proporción caolinita y hematites («chert» blanco poroso), donde se observan algunos restos texturales completamente isotropizados (lámina 1d). A partir de este sector se desarrollan niveles más compactos de carácter cuarzo-alunitico donde se observan finas intercalaciones, a nivel

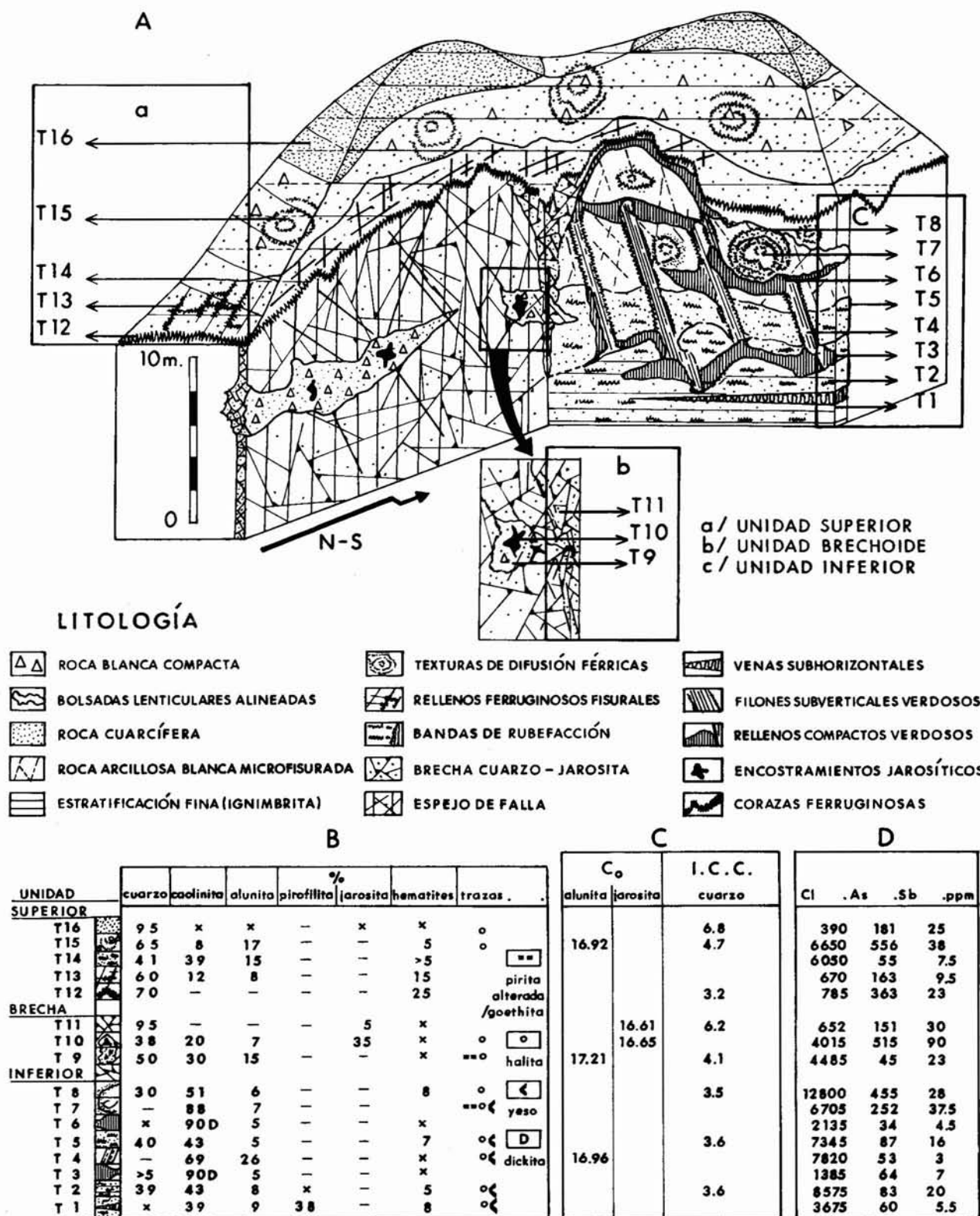


Fig. 3.—Alteración sobre materiales ignimbríticos (Cortijo de los Tollos). A) Esquema estructural. B) Composición mineralógica. C) Parámetro de celdilla c_0 ($d_{(006)} \times 6 \text{ \AA}$) en alunita y jarosita. Índice de cristalinidad de cuarzo (I.C.C.): Escala de 1 a 10 en función de la intensidad relativa y resolución de la reflexión $d_{(212)}$ según Murata y Norman (1976). D) Oligoelementos analizados (Cl, As, Sb).

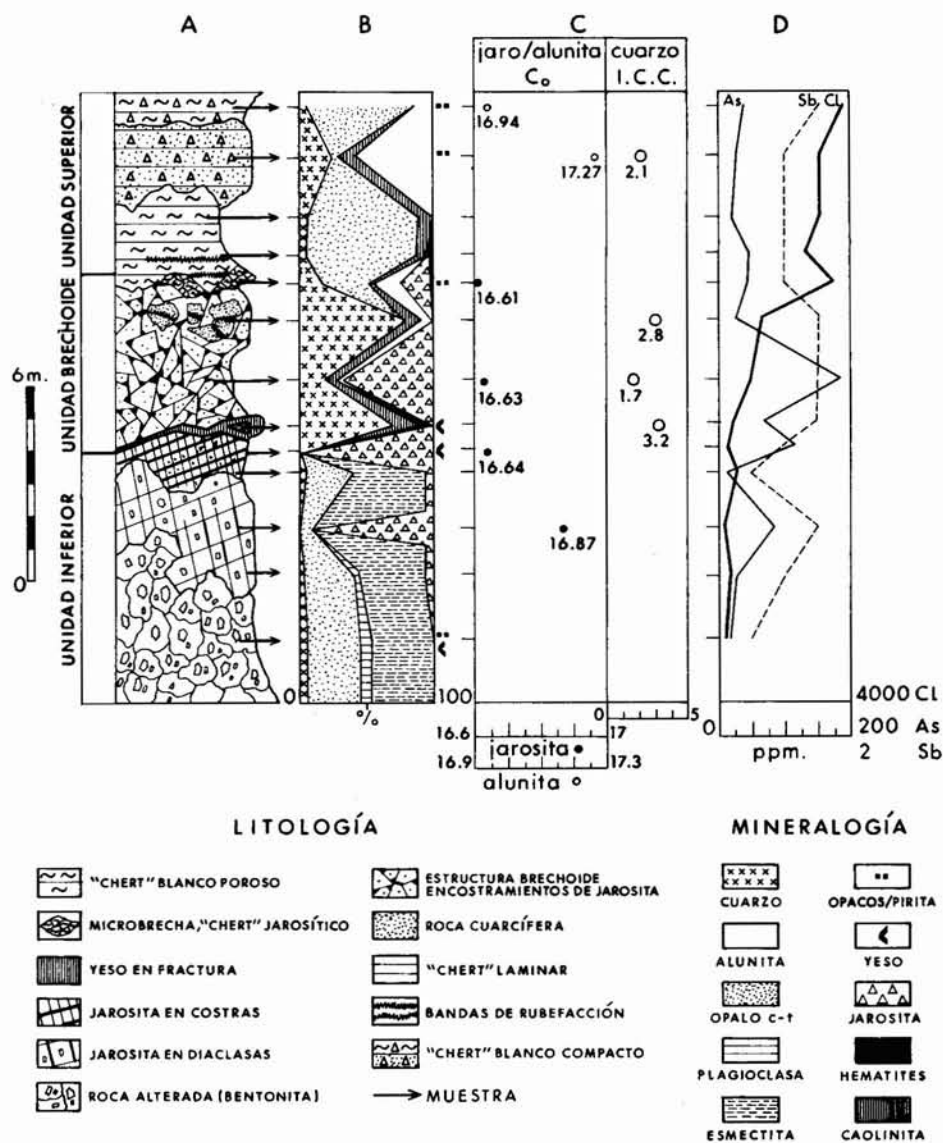


Fig. 4.—Alteración sobre materiales aglomeráticos (Las Negra, El Molino). A) Perfil de alteración. B) Composición mineralógica. C) Parámetro de celdilla c_0 ($d_{006} \times 6 \text{ \AA}$) en alunite y jarosita. Índice de cristalinidad de cuarzo (I.C.C.): Escala de 1 a 10 en función de la intensidad relativa y resolución de la reflexión d_{212} según Murata y Norman (1976). D) Oligoelementos analizados (Cl, As, Sb).

microscópico, de bandas de minerales opacos en una matriz laminar de cuarzo criptocristalino (I.C.C., 2.1). Finalmente, a techo del perfil, aparecen niveles laminares compuestos por cristobalita ($d(101)=4.05 \text{ \AA}$) y alunite («chert» blanco compacto). Estos niveles presentan cierta ritmicidad a nivel microscópico, observándose interstratificaciones finas de alunite-cristobalita en su estudio óptico, y de halita-cristobalita en su estudio de fábrica (lámina 2f).

En función del parámetro de celdilla c_0 , se observa una tendencia en la jarosita a ser de carácter sódico conforme se progresa hacia niveles superiores. Esta misma tendencia se observa en relación con la alunite, si bien los valores de este parámetro estarían más cerca de los términos potásicos, más estables dentro de este grupo mineral.

El contenido en As, Sb y Cl, presenta una evolución ascendente

hacia los niveles superiores de alteración masiva. Si bien el Cl se encuentra lixiviado en los sectores con fases silíceas de mayor cristalinidad, así como en las zonas con cementación de óxidos de hierro.

Sobre estos materiales la alteración evoluciona a partir de estructuras fisurales y de brechificación que abren las vías de la alteración masiva de la roca de caja, a la vez que se destruye la estructura y textura de la roca original. El carácter más competente y de estructura más irregular de los materiales aglomeráticos se traduce en un patrón de alteración más heterogéneo que en las tobas, siendo más similar al estudiado en los materiales ignimbriticos, si bien estos últimos se encuentran visiblemente más alterados, ya que se encuentran próximos a los focos más importantes de ascensión de fluidos (Arribas, 1988).

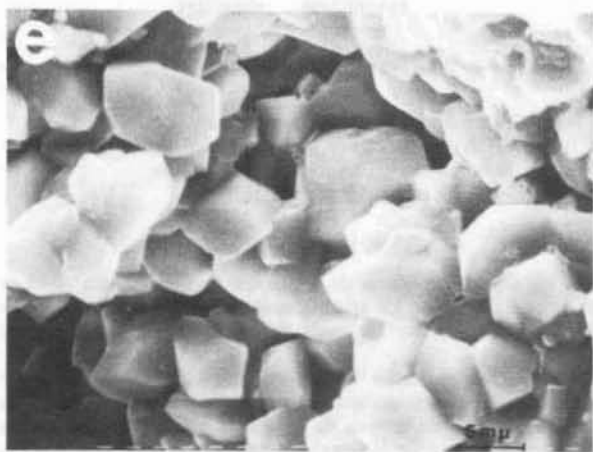
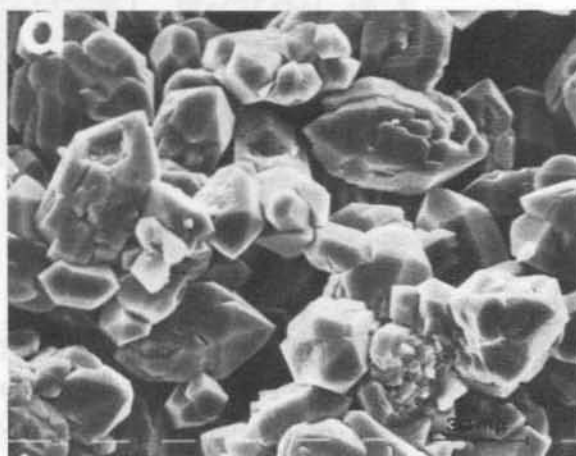
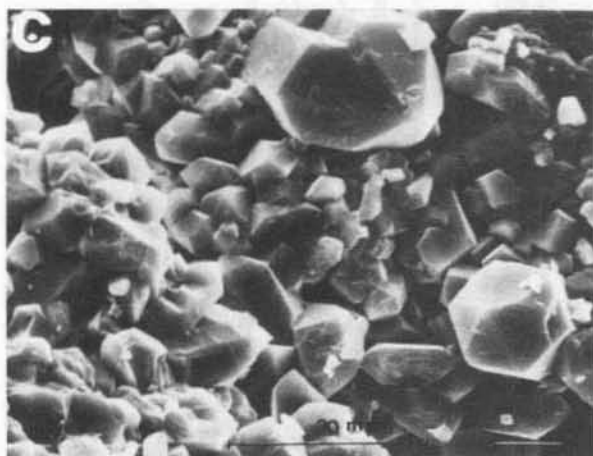
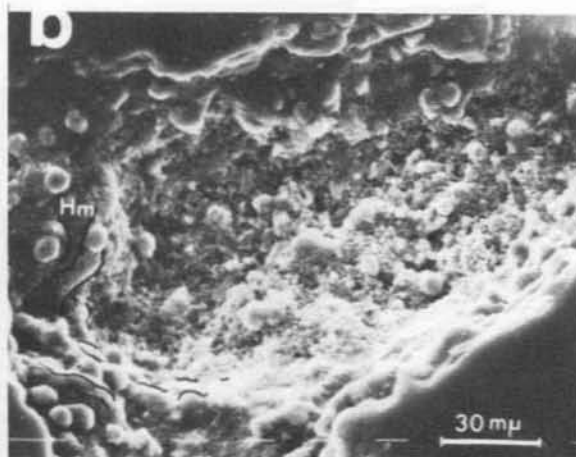
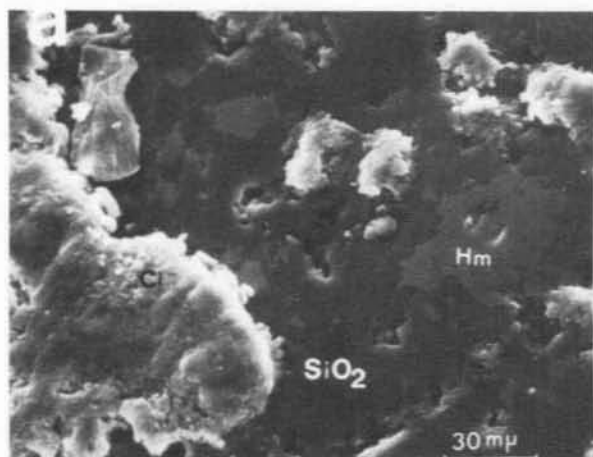


Lámina 2.—Microfábrica. 2a: Zonas de cuarzo-hematites. Anillos de difusión. Relleno de halita en poros.—2b: Jaspers: Interlaminación de corpúsculos de hematites con cuarzo criptocristalino.—2c: Individuos de cuarzo maclados prismáticos bipiramidales en fábrica porosa.—2d: Individuos de cuarzo prismáticos bipiramidales. Fenómenos de dislocación y huellas de disolución.—2e: Detalle de recristalización de cuarzo en poros. Individuos tabulares simples no maclados.—2f: Interestratificación halita-cristobalita. Detalle de fábrica. «Chert» laminar blanco compacto.

Discusión de Resultados

El análisis de la zonación en las secuencias estudiadas permite establecer una comparación con los modelos de alteración desarrollados por Berger (1985), y Cunningham *et al.*, (1984) en relación con alteración hidrotermal de tipo argílico avanzado en ambientes de tipo «fuente termal», relacionados en ocasiones con yacimientos de metales preciosos. Estos autores describen secuencias de zonación en la vertical en las que encajan los perfiles de alteración estudiados, particularmente en la manifestación superficial del modelo que describen, destacando las siguientes características:

— Extensa silicificación superficial (unidades superiores), y subsuperficial, con fenómenos de brechificación hidrotermal en episodios sucesivos cementados por fases silíceas (unidades brechoides).

— Existencia de paragénesis argílicas avanzadas (alunita, jarosita, caolinita, Dickita, pirofilita) asociadas a la generación de un frente de lixiviación hidrolítico ácido producido por el enfriamiento y oxidación de fluidos en ebullición ricos en gases que se condensarían junto con el vapor de agua en torno al nivel freático (zonas intermedias) (H_2S , $HCl^o \rightarrow H_2SO_4$, Cl^- , H^+). Este fenómeno se produce en pulsos sucesivos y genera, por encima del nivel freático, niveles porosos de rocas silíceas, fruto de una intensa lixiviación («cuarzo poroso»).

— Concentración dispersa de Fe, As y Sb en fases de sulfuros, sulfatos y óxidos en conjunción con la silicificación superficial.

La generación de abundantes sulfatos básicos (jarosita y alunita ricas en Na), así como la presencia significativa de cloruros en forma de halita en zonas argílicas intermedias, son indicativos de la circulación de fluidos ácidos con importantes contenidos en $SO_4^{=}/Cl^-/Na^+$. Estas condiciones se han observado en sistemas geotermales actuales en una gran variedad de ambientes, entre ellos, zonas volcánicas insulares de carácter félsico (Weisenberg *et al.*, 1979; Rose and Burt, 1979).

La hidrólisis de los componentes evaporíticos a alta temperatura ($CaSO_4$, $NaCl \rightarrow HCl^o$, $SO_4^{=}$, $Na(OH) \dots H_4SiO_4$ disolución) y la circulación de salmueras con reducción parcial de sulfatos, se han postulado en conexión con la generación en zonas superficiales de sistemas de nivel freático en ebullición sobre rocas volcánicas calcoalcalinas (Cunningham *et al.*, 1984; Fournier, 1985), originándose mineralizaciones de sulfuros en profundidad y sulfatos básicos, caolinita y fases silíceas (precipitación por fluidos sobresaturados) en zonas superficiales.

La presencia de salmueras contemporáneas con el emplazamiento del vulcanismo, que dieron lugar a la deposición de evaporitas de origen marino (Megías, 1985), podría ser de importancia en la explicación del

origen de las alteraciones y de los episodios metalogénicos de la zona (Friedrich *et al.*, 1984).

La existencia de fases de tipo sódico o potásico en los sulfatos básicos (jarosita y alunita) parece relacionarse con el desarrollo más o menos extenso de las paragénesis argílicas avanzadas. Las formas sódicas se asocian a sectores más diferenciados con un mayor grado de lixiviación en los componentes alcalinos y alcalinotérreos (paragénesis con cuarzo u ópalo CT y caolinita en tobas y aglomerados), así como en vías de alteración fisurales en conductos más restringidos (Brechas cuarzo-jarosíticas e ignimbritas y aglomerados). La alunita aparece en formas predominantemente potásicas, ya que la incorporación de sodio está desfavorecida frente al potasio en este mineral, requiriendo fluidos con una relación Na/K muy alta o medios muy ácidos o a alta temperatura (Hemley, 1969; Hladky y Slansky, 1981).

El desarrollo de los procesos de alteración supergénicos está marcadamente influenciado por la existencia de estructuras fisurales y brechificación, afectando con mayor intensidad a rocas de tipo aglomerático e ignimbrítico. La removilización de los elementos dispersos, como As, Sb y Cl, se asocia con la formación de anillos de difusión de óxidos de hierro en materiales cuarzo-aluniticos y caoliníticos. Observándose cementaciones de halita tapizando superficies de deslizamiento y fisuras sobre estos materiales. Este tipo de alteración progresaría con el paulatino desarrollo de la porosidad secundaria, lo que permitiría la circulación de aguas meteóricas, cuyo carácter oxidante potenciado con la intervención de los cloruros lixiviados, facilitaría la disolución de minerales ferrosos (sulfuros dispersos) y la difusión del hierro en un medio cada vez más permeable que influiría en una mayor velocidad de transporte (Augusthitis y Vgenopoulos, 1983). En este modelo cabría considerar la posible influencia de estos procesos en el transporte del Au^{3+} en medios oxidantes superficiales como complejos clorurados (Seward, 1984).

Coincidiendo con un mayor desarrollo de los procesos supergénicos descritos se puede observar una evolución en el grado de ordenamiento, en la textura y en la morfología de las fases silíceas, en función del desarrollo de la porosidad secundaria. Este fenómeno se observa en la formación de cristales individuales de cuarzo prismáticos bipiramidales, tanto en zonas porosas de rocas silíceas, como en sectores con paragénesis argílicas avanzadas con marcados procesos de difusión de óxidos. En este último caso se han podido observar individuos aislados en la matriz arcillosa con hábitos y tamaños similares a los de las rocas cuarcíferas con mayor cristalinidad (I.C.C., 7).

La formación de cristales individuales de cuarzo requiere, según Williams *et al.*, (1985), un medio no saturado con respecto a los polimorfos de la sílice, lo que favorece el crecimiento cristalino frente a la

nucleación masiva. Este fenómeno es posible en un medio con concentraciones relativamente bajas en H_4SiO_4 (Berner, 1980), en cuyo control pueden influir el pH (<7), los procesos de regulación por acomplejamiento (SO_4^{2-}), o la neoformación de otras fases minerales como la caolinita (Williams and Crerar, 1985).

Tanto en el análisis de las secuencias de zonación superficiales de las paragénesis hidrotermales, como en el posterior desarrollo de los procesos supergénicos, se ha puesto de manifiesto la influencia de la estructura de la roca original. Se observan fundamentalmente dos modelos de alteración: uno que progresa a favor de estructuras fisurales y brechificadas desarrollado sobre rocas aglomeráticas consolidadas (Aglomerados en las Negras y posiblemente dacitas rojo-violáceas en Rodalquilar). En este tipo se podría incluir el modelo estudiado sobre materiales ignimbríticos, que si bien sufren una alteración argílica avanzada masiva, son también importantes los episodios fisurales, dado el grado de consolidación de estos materiales volcánicos. Tampoco hay que descartar en este caso la presencia próxima de un foco de alteración de mayor intensidad. El otro modelo, desarrollado sobre tobas volcánicas, presenta alteración masiva continua en la horizontal con patrones de zonación en la vertical claramente diferenciados. Este hecho, se debe a la mayor permeabilidad atribuible a esta roca, siendo estos materiales afectados en menor grado por los procesos de alteración supergénica, en función de una mayor consolidación y pérdida de permeabilidad durante el reemplazamiento de las paragénesis mineralógicas originales por las generadas durante la alteración hidrotermal.

AGRADECIMIENTOS

A A. Arribas Rosado por sus valiosos comentarios en la revisión del manuscrito original.

Referencias

- Arribas Rosado, A. (1988). Comunicación personal.
- Augusthitis, S. S. y Vgenopoulos, A. (1983). Leaching and Diffusion in Charnokites, Basalt, Trachytic Tuffite, Bauxite, Quartz-alunite and Andesite. In: *Leaching and Diffusion in Rocks and their Weathering Products*. S. S. Augusthitis Edit. Theop. Pub., 151-163.
- Barahona, E. (1974). *Arcillas de ladrillería de la provincia de Granada: evaluación de algunos ensayos de materias primas*. Tesis Doctoral. Univ. Granada., 380 pags.
- Bellon, H. y Brousse, R. (1977). Le magmatisme perimediteranean occidental. Essai de synthese. *Bol. Soc. Geol. France.*, 469-480.
- Berner, R. A. (1980). *Early Diagenesis. A Theoretical Approach*. Princeton Series in Geochemistry. D. Hollan, Edit., 243 pags.
- Berger, B. (1985). Geologic-Geochemical Features of Hot Spring Precious-Metal Deposits. In: *Geologic Characteristics of Sediment and Volcanic-Hosted Disseminated Gold Deposits*. E. W. Tooker. Edit., 47-53.
- Bordet, P. (1985). *Le volcanisme miocene des Sierras de Gata et de Carboneras (Espagne du Sud-Est)*. Doc et Trav. IGAL, Paris, 8, 70 pags.
- Bordet, P.; Montenat, C.; Ott, P. et Vachard, D. (1982). La «BRECHE ROUGE» de Carboneras: Un olitostrome volcanico sedimentaire tortonien. *Mem. Geol. Univ. de Dijon*, 7, 285-300.
- Bordet, P. y De Larouziere, F. D. (1983). Particularités geoquímicas des volcanites des Sierras de Gata et de Carboneras. *C. R. Acad. Sc. Paris.*, 296, 449-452.
- Bousquet, J. C. y Philip, H. (1976). Observations tectoniques et microtectoniques sur le distension plio-pleitocene ancien dans l'Est des Cordilleres Betiques (Espagne Meridionale). *Cuad. Geol.*, 7, 57-67.
- Brophy, G. P. y Sheridan, F. (1965). Sulphate Studies IV: The Jarosite-Natrojarosite-Hydrionium Jarosite Solid Solution Series. *Amer. Mineral.*, 50, 1595-1607.
- Cuevas, J.; Leguey, S. y Medina, J. A. (1987). The Formation of Chert, Jasper, and Quartz Rocks from Hydrothermal Alteration and Weathering of Volcanic Rocks in Rodalquilar (Almería, SE of Spain). In: *Geochemistry and Mineral Formation in the Earth Surface*. (R. Rodríguez Clemente y Y. Tardy, Edit.). CSIC-CRNS., Madrid, 849-861.
- Cunningham, C. G.; Rye, R. O.; Steven, T. A. y Menhart, H. H. (1984). Origins and Exploration Significance of Replacement and Vein Type Alunite Deposits in the Marysvale Volcanic Field, West Central Utah. *Econ. Geol.*, 79, 50-71.
- Fernández Soler, J. M. (1987). Análisis e interpretación de los materiales volcánicos del Cerro de los Frailes (Cabo de Gata, Almería) (1). *Estudios Geol.*, 43, 359-336.
- Fournier, R. O. (1985). Silica Minerals as Indicators of Gold Deposition. In: *Geologic Characteristics of Sediment and Volcanic-hosted Disseminated Gold Deposits*. E. W. Tooker. Edit., 15-26.
- Friedrich, G.; Kross, G. y Wiechowski, A. (1984). Goldmineralisation in Rodalquilar, Spanien. *Geol. Jb.* A-75, 345-359.
- Fúster, J. M.; Aguilar, M. J. y García A. (1965). Las Sucesiones volcánicas en la zona del Pozo de los Frailes dentro del vulcanismo Cenozoico del Cabo de Gata (Almería). *Estudios Geol.*, 21, 199-222.
- Hemley, J. J.; Hosteler, P. B.; Gude, A. J. y Mountjoy, J. (1969). Some Stability Relations of Alunite. *Econ. Geol.*, 64, 6, 599-612.
- Hladky, G. y Slansky, E. (1981). Stability of Alunite Minerals in Aqueous Solutions at Normal Temperature and Pressure. *Bull. Mineral.*, 104, 468-477.
- Jeffery, P. G. y Hutchison, D. (1983). *Chemical Methods in Rock Analysis*. Pergamon Press. London. 379 pags.
- Kiuki, N. y Navkapar, T. (1984). Determination of Trace Concentrations of Selenium by Continuous Hydride Generation-ICP Spectrometry. *ICP Newsletter.*, 9, 10, 634-635.
- Larrea Martín, M. T. y Gómez Coedo, A. (1986). Control analítico de cobres refinados por espectrometría de Plasma I.C.P. II. Soluciones enriquecidas. *Rev. Metal.* 22, 359-366.
- León, C. (1967). Las formaciones volcánicas del Cerro de los Lobos (Almería, SE de España). *Estudios Geol.*, 22, 15-28.
- Linares, J. (1987). Chemical Evolutions Related to the Genesis of Hydrothermal Smectites (Almería, SE of Spain). In: *Geochemistry and Mineral Formation in the Earth Surface*. (R. Rodríguez Clemente and Y. Tardy Edit.) CSIC. CNRS., Madrid, 567-581.
- Lodder, W. (1966). *Gold-Alunite Deposits and Zonal Wall-*

- Rock Alteration near Rodalquilar, SW of Spain.* Meded. Univ. Amsterdam. Geol. Inst., 318, 94 pags.
- López Ruiz, F. J. y Rodríguez Badiola, E. (1980). La región volcánica Neogena del SE de España. *Estudios Geol.*, 36, 5-63.
- Martín Vivaldi, J. L.; Sierra, J. y Leal, G. (1971). Some Aspects of the Mineralization and Wall Rock Alteration in the Rodalquilar Gold Field, SE of Spain. *Soc. Mining. Geol. Japan. Spec. Issue.*, 2, 145-152.
- Megías, A. G. (1982). La evolución del Mar de Alborán y Cadenas Bético-Magrébides durante el neogeno. *V. Congr. Latinoamer. Geol. Actas.*, 2, 329-340.
- Megías, A. G. (1985). Tectosedimentary Relationships Between Miocene Reefs and Evaporites in Almería and Sorbas Basin (SE Iberian Peninsula). *6Th European Reg. Meet. of Sedimentology. I.A.S. Lleida'85*, 292-295.
- Menchetti, S. y Sabelli, C. (1976). Crystalchemistry of the Alunite Series. Crystal Structure Refinement of Alunite and Synthetic Jarosite. *N. Jb. Miner. Mh.*, H9, 406-417.
- Murata, K. J. y Norman, M. B. (1976). An Index of Crystallinity for Quartz. *Amer. J. Sci.*, 276, 1120-1130.
- Paez Carrión, A. y Sánchez Soria, P. (1965). Vulcanología del Cabo de Gata entre San José y Vela Blanca. *Estudios Geol.*, 21, 223-246.
- Pineda, A. (1984). Las mineralizaciones metálicas y su contexto Geológico en el área volcánica neógena del Cabo de Gata. (Almería, Se de España). *Bol. Geol. Min.*, 95, 569-592.
- Pineda, A.; Giner, J.; Zazo, C. y Goy, J. L. (1983). *Memoria del mapa Geológico 1: 50.000., 24-43. Carboneras.* IGME., 79 pags.
- Rose, A. W.; y Burt, D. W. (1979). Hydrothermal Alteration. In: *Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits.* H. L. Barnes Edit. John Willey, 173-235.
- Seward, T. M. (1984). The Transport and Deposition of Gold in Hydrothermal systems. In: *Gold'82: The Geology. Geochemistry and Genesis of Gold Deposits.* (R.P. Foster Edit.) Geol. Soc. Zimb. Spec. Pub. 1, 165-182.
- Sierra, J. y Leal, G. (1968). *El distrito aurífero de Rodalquilar-Cabo de Gata. Geología, metalogenia, geoquímica e investigación minera.* Informe interno. E.N. ADARO: 116 pags.
- Schultz, L. G. (1964). Quantitative Interpretation of Mineralogical Composition from X-RAY in Chemical Data for the Oierre Shale. *Geol. Surv. Prof. Paper.* 391. C.
- Weissberg, B. G.; Browne, P. R. L. y Seward, T. M. (1979). Ore Metals in Active Geothermal Systems. In: *Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits.* (H. L. Barnes, Edit.) Willey, 738-781.
- Williams, L. A. y Crerar, D. A. (1985). Silica Diagenesis II. General Mechanisms. *J. Sed. Petrol.*, 55, 312-321.
- Williams, L. A.; Parks, G. A. y Crerar, D. A. (1985). Silica diagenesis. I. Solubility controls. *J. Sed. Petrol.*, 55, 301-311.

Recibido el 13 de julio de 1988
Aceptado el 5 de septiembre de 1989