



UNIVERSITAT DE  
BARCELONA

## Estudio Geológico y Metalogenético del Basamento Precámbrico del Sáhara Occidental

Saleh Lehibb Nayem

**ADVERTIMENT.** La consulta d'aquesta tesi queda condicionada a l'acceptació de les següents condicions d'ús: La difusió d'aquesta tesi per mitjà del servei TDX ([www.tdx.cat](http://www.tdx.cat)) i a través del Dipòsit Digital de la UB ([diposit.ub.edu](http://diposit.ub.edu)) ha estat autoritzada pels titulars dels drets de propietat intel·lectual únicament per a usos privats emmarcats en activitats d'investigació i docència. No s'autoritza la seva reproducció amb finalitats de lucre ni la seva difusió i posada a disposició des d'un lloc aliè al servei TDX ni al Dipòsit Digital de la UB. No s'autoritza la presentació del seu contingut en una finestra o marc aliè a TDX o al Dipòsit Digital de la UB (framing). Aquesta reserva de drets afecta tant al resum de presentació de la tesi com als seus continguts. En la utilització o cita de parts de la tesi és obligat indicar el nom de la persona autora.

**ADVERTENCIA.** La consulta de esta tesis queda condicionada a la aceptación de las siguientes condiciones de uso: La difusión de esta tesis por medio del servicio TDR ([www.tdx.cat](http://www.tdx.cat)) y a través del Repositorio Digital de la UB ([diposit.ub.edu](http://diposit.ub.edu)) ha sido autorizada por los titulares de los derechos de propiedad intelectual únicamente para usos privados enmarcados en actividades de investigación y docencia. No se autoriza su reproducción con finalidades de lucro ni su difusión y puesta a disposición desde un sitio ajeno al servicio TDR o al Repositorio Digital de la UB. No se autoriza la presentación de su contenido en una ventana o marco ajeno a TDR o al Repositorio Digital de la UB (framing). Esta reserva de derechos afecta tanto al resumen de presentación de la tesis como a sus contenidos. En la utilización o cita de partes de la tesis es obligado indicar el nombre de la persona autora.

**WARNING.** On having consulted this thesis you're accepting the following use conditions: Spreading this thesis by the TDX ([www.tdx.cat](http://www.tdx.cat)) service and by the UB Digital Repository ([diposit.ub.edu](http://diposit.ub.edu)) has been authorized by the titular of the intellectual property rights only for private uses placed in investigation and teaching activities. Reproduction with lucrative aims is not authorized nor its spreading and availability from a site foreign to the TDX service or to the UB Digital Repository. Introducing its content in a window or frame foreign to the TDX service or to the UB Digital Repository is not authorized (framing). Those rights affect to the presentation summary of the thesis as well as to its contents. In the using or citation of parts of the thesis it's obliged to indicate the name of the author.

### 4.2.3. ROCAS INTRUSIVAS DE EDAD PALEOPROTEROZOICO

Los intrusivos del Paleoproterozoico del dominio de Choum-Rag El Abiod-Layuad presentan afinidades con los que se encuentran en el dominio de Tasiast-Tijirit-Auserd, puesto que se reconocen intrusivos alcalinos, además de episodios posteriores de rocas hipabisales. Además, se han identificado algunos intrusivos calcoalcalinos.

#### 4.2.3.1. Magmatismo alcalino del Paleoproterozoico

En la zona que consideramos se reconoce también magmatismo anorogénico, si bien está representado por rocas ácidas alcalinas (granitoides alcalinos anorogénicos, tipo A). En cambio, las rocas subsaturadas alcalinas parecen ser algo más raras, con excepción de algunos diques fonolíticos.

Los granitoides alcalinos son intrusivos de tamaño pequeño, formando pequeños stocks de forma moderadamente elongada en la dirección NW-SE, lo que indicaría que también han sufrido deformación posteriormente a su emplazamiento. El

cuerpo mayor es el de Layuad, hacia la parte central-occidental de la zona, pero hay otros cuerpos menores en la zona de Galb Legteitira, hacia la parte central-oriental de la zona.

La composición del cuerpo de granitoides de Layuad puede corresponder a una leucocuarzosienita. Esta roca forma relieves muy pronunciados sobre la penillanura del Tiris, la erosión de los cuales produce cuerpos de tipo «moutonné», a menudo con erosión alveolar. Esta roca es de color claro en muestra de mano, de tamaño de grano fino a medio (entre 1 y 2 mm), y está constituida mayoritariamente por microclina alotriomórfica y menores cantidades de cuarzo alotriomórfico; no se reconocen cristales de plagioclasa en estas rocas. La microclina es mesopertítica, con pertitas en forma de vetas y con maclado en parrilla claramente visibles (fig. 4.2.72, 4.2.73). Los cristales de cuarzo pueden aparecer entre los de feldespato potásico, y en ellos se reconoce deformación. El cuarzo puede aparecer además en vetas tardías, posiblemente de origen hidrotermal. No se han reconocido minerales máficos, y no parece contener minerales opacos; las proporciones de apatito y de zircón son muy bajas, y los cristales son de tamaño de grano muy fino.

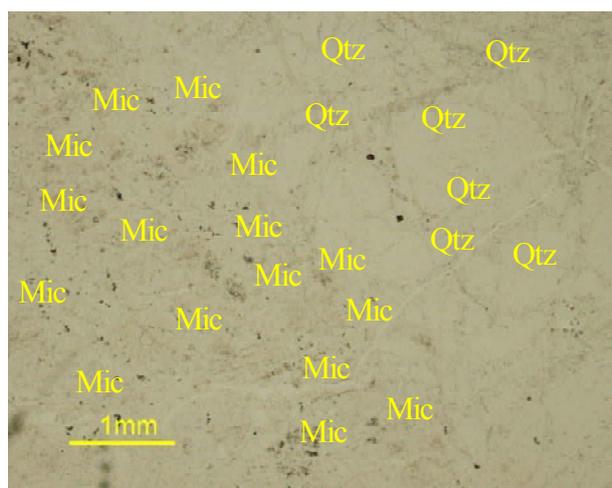


Figura 4.2.72. Leucocuarzosienita de Layuad. Qtz, cuarzo, Mic, microclina. Muestra sa120. PPL.

Figure 4.2.72. Leucoquartzsyenite from Layuad. Qtz, quartz, Mic, microcline. Sample sa120. PPL.



Figura 4.2.73. La imagen anterior en nicóles cruzados. A remarcar la extinción ondulante del cuarzo por deformación.

Figure 4.2.73. The above image in crossed polars. Note the undulouse extinction in quartz.

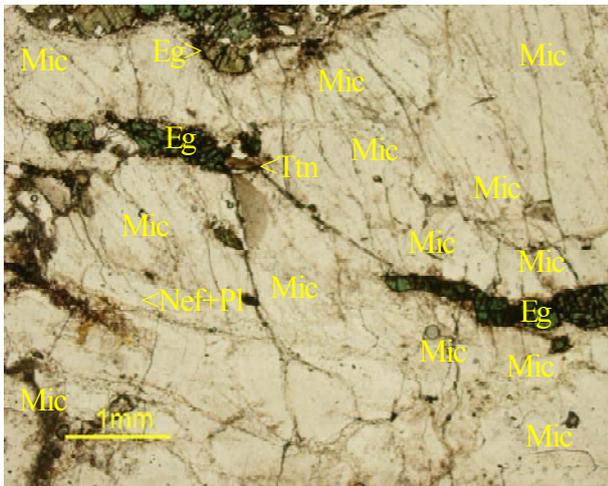


Figura 4.2.74. Essexita egirínica de Galb Legteitira. Eg, egirina, Nef, nefelina, Pl, plagioclasa, Mic, microclina, Ttn, titanita. Muestra csa52. PPL.

Figure 4.2.74. Aegirine essexite from Galb Legteitira. Sample csa52. PPL. Eg, aegirine, Nef, nepheline, Pl, plagioclase, Mic, microcline, Ttn, titanite.

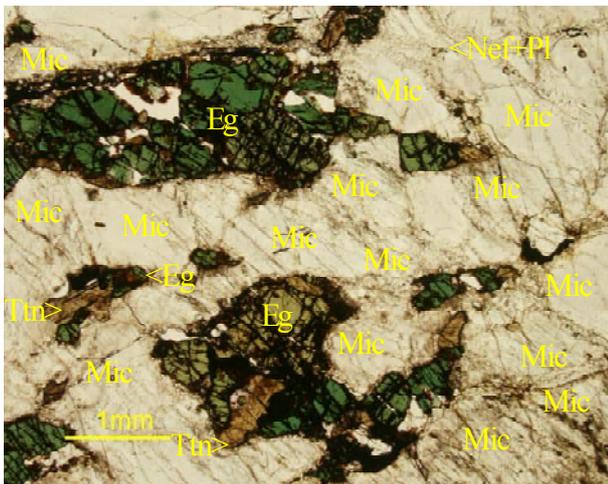


Figura 4.2.76. Essexita egirínica de Galb Legteitira. Eg, egirina, Nef, nefelina, Pl, plagioclasa, Mic, microclina, Ttn, titanita. Muestra csa52. PPL.

Figure 4.2.76. Aegirine Essexite from Galb Legteitira. Sample csa52. PPL. Eg, aegirine, Nef, nepheline, Pl, plagioclase, Mic, microcline, Ttn, titanite.

Las essexitas egirínicas de Galb Legteitira constituyen un afloramiento mucho menor, muy afectado por una zona de cizalla próxima. Por ello, estas rocas presentan una foliación milonítica muy desarrollada. En estas rocas la foliación milonítica ha servido para la circulación de un magma alcalino tardío, constituido aparentemente por nefelina y plagioclasa, en desequilibrio con el feldespato anterior, al que reemplaza. Las proporciones

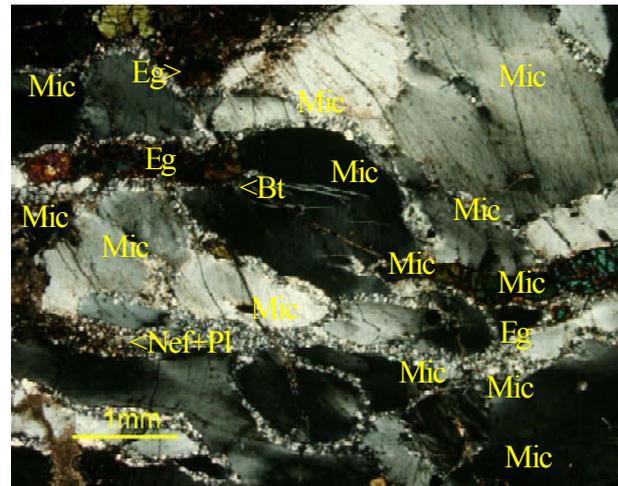


Figura 4.2.75 La imagen anterior, en nicoles cruzados. Nótese la foliación. Hay un cuarzo precoz (Qtz1) y otro tardío (Qtz2).

Figure 4.2.75. The above image, in crossed polars. Note the foliation in the rock and two generations of quartz (1 and 2).

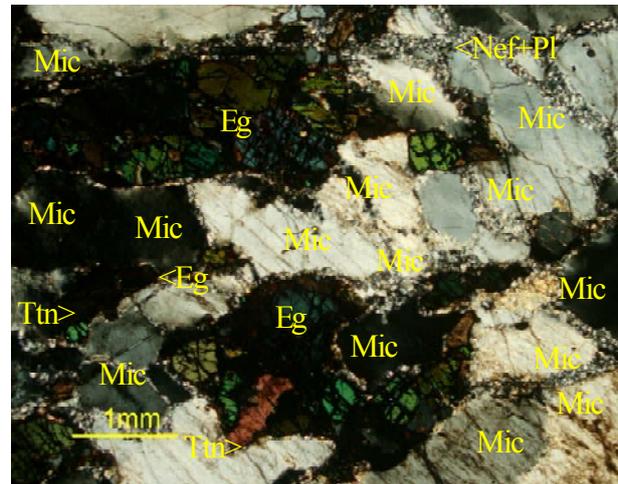


Figura 4.2.77 La imagen anterior, en nicoles cruzados. Nótese la foliación. El cuarzo es tardío.

Figure 4.2.77. The above image, in crossed polars. Note the foliation in the rock and the late position of the quartz grains.

de nefelina son muy inferiores a las de feldespato alcalino (5 a 10% modal y 80-85% modal, respectivamente). En el feldespato potásico raramente se reconocen las pertitas o el maclado, debido a la recrystalización originada por la deformación milonítica. La egirina es muy abundante en estas rocas (entre el 10-30% modal); es alotriomórfica y se encuentra fuertemente afectada por la milonitización. Finalmente, la titanita y la

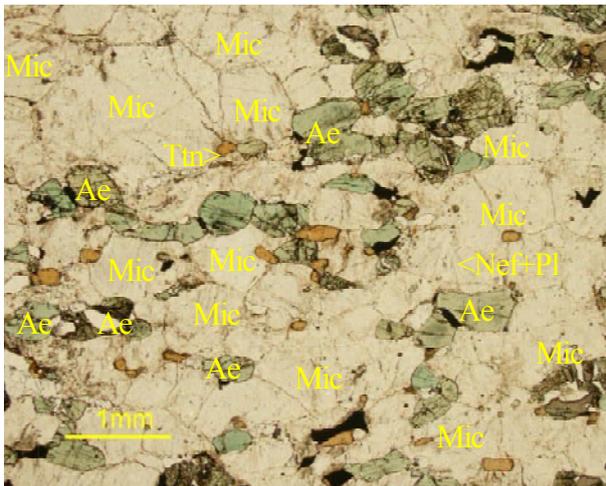


Figura 4.2.78. Essexita de Galb Legteitira. Ae, Augita-egirina, Mic, microclina, Nef, nefelina, Pl, plagioclasa. Ttn, titanita. Muestra csa52. PPL.

Figure 4.2.78. Essexite from Galb Legteitira. Sample csa52. PPL. Ae, augite-egirine, Nef, nepheline, Pl, plagioclase, Mic, microcline, Ttn, titanite.

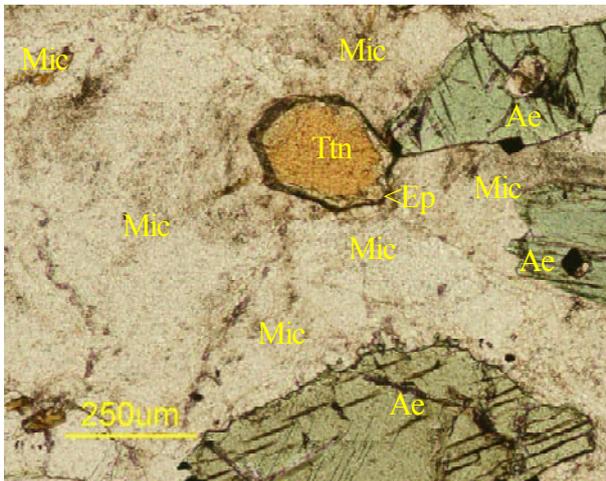


Figura 4.2.80. Essexite egirínica de Galb Legteitira. Ae, augita-egirina, Ep, epidota, Mic, microclina, Ttn, titanita. Muestra csa52. PPL.

Figure 4.2.80. Aegirine essexite from Galb Legteitira. Sample csa52. PPL. Ae, augite-egirine, Ep, epidote, Mic, microcline, Ttn, titanite.

magnetita aparecen en proporciones inferiores al 2% modal.

En la misma zona se reconocen otras rocas alcalinas bastante parecidas a las anteriores, pero con mayor proporción de feldespato, en las que por otra parte la composición del clinopiroxeno se aparta del componente egirínico. En este caso, la menor proporción de componente egirina se refleja ópticamente en que el color del mineral pasa

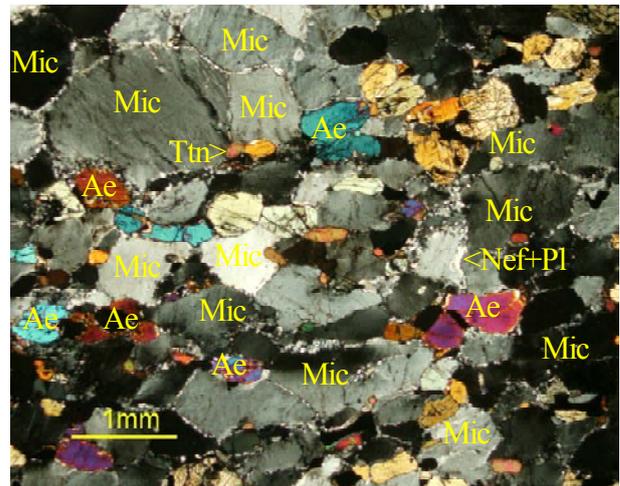


Figura 4.2.79. La imagen anterior, en nicoles cruzados. Nótese la foliación. Hay un fundido simplectítico intersticial con plagioclasa (Nef+Pl).

Figure 4.2.79. The above image, in crossed polars. Note the foliation in the rock and a symplectitic melt (Nef+Pl).

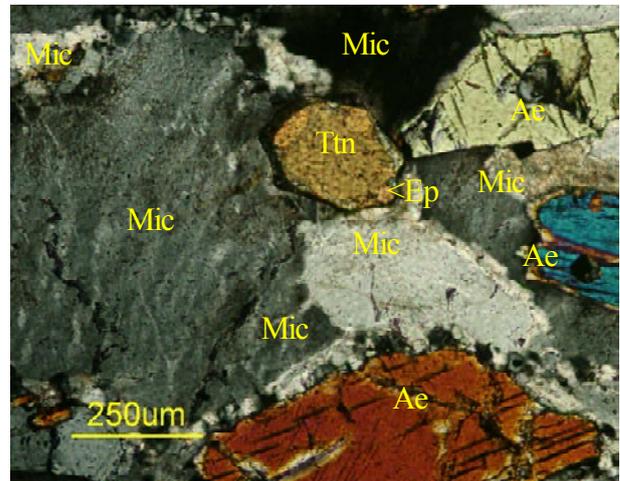


Figura 4.2.81 La imagen anterior, en nicoles cruzados. La titanita es reemplazada por epidota.

Figure 4.2.81. The above image, in crossed polars. Titanite is replaced by epidote along the grain borders.

a ser un verde muy pálido (figura 4.2.78, 4.2.79), y el piroxeno se enriquece en componente hedenbergítico. Por otra parte, estas rocas están muy enriquecidas en titanita, que aparece en cristales hipidiomórficos o alotriomórficos de grano fino, en proporciones modales significativas aunque inferiores al 2% (figura 4.2.78-4.2.79). Esta titanita se ve reemplazada por los bordes a epidota (figuras 4.2.80-4.2.81).

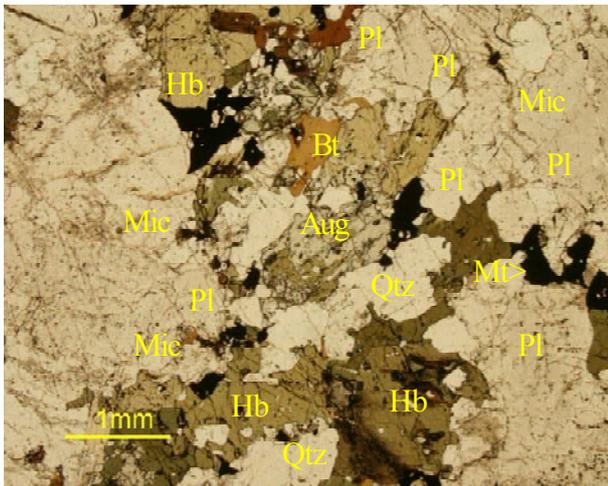


Figura 4.2.82. Cuarzomonzonita de Duguech. Aug, augita, Qtz, cuarzo, Pl, plagioclasa, Mic, microclina. Hb, hornblenda, Bt, biotita, Mt, magnetita. Muestra csa38. PPL.

Figure 4.2.82. Quartzmonzonite from Duguech. Sample csa38. PPL.

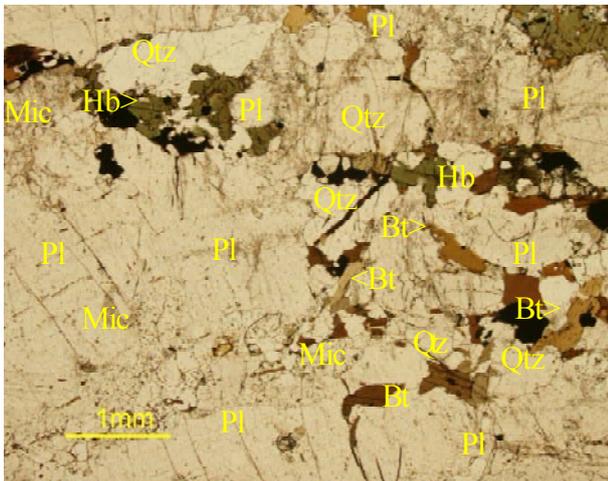


Figura 4.2.84. Cuarzomonzonita de Duguech. Qtz, cuarzo, Pl, plagioclasa, Mic, microclina. Hb, hornblenda, Bt, biotita, Mt, magnetita. Muestra csa38. PPL

Figure 4.2.84. Quartzmonzonite from Duguech. Sample csa38. PPL.

#### 4.2.3.2. Intrusiones plutónicas calcoalcalinas del Paleoproterozoico (?)

Se han encontrado hasta el momento escasos representantes de magmatismo calcoalcalino con una posible edad de Paleoproterozoico en la zona estudiada. En realidad, solamente un cuerpo de dimensiones relativamente reducidas, que produce algunas pequeñas colinas sobre la penillanura del Tiris.

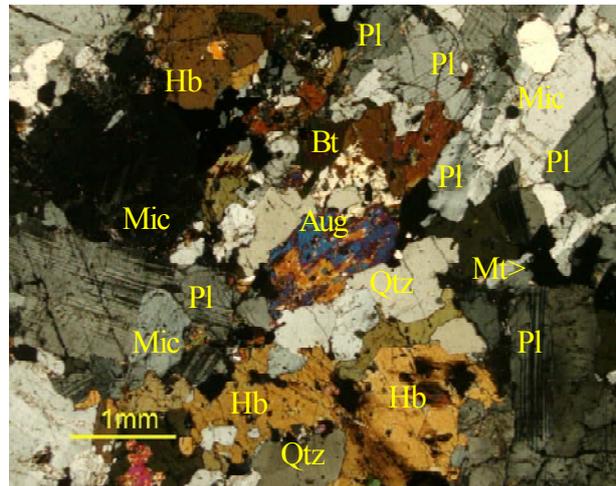


Figura 4.2.83 La imagen anterior, en nicoles cruzados. A remarcar el piroxeno alterado.

Figure 4.2.83. The above image, in crossed polars. Aug, augite, Qtz, quartz, Pl, plagioclase, Mic, microcline. Hb, hornblende, Bt, biotite, Mt, magnetita.

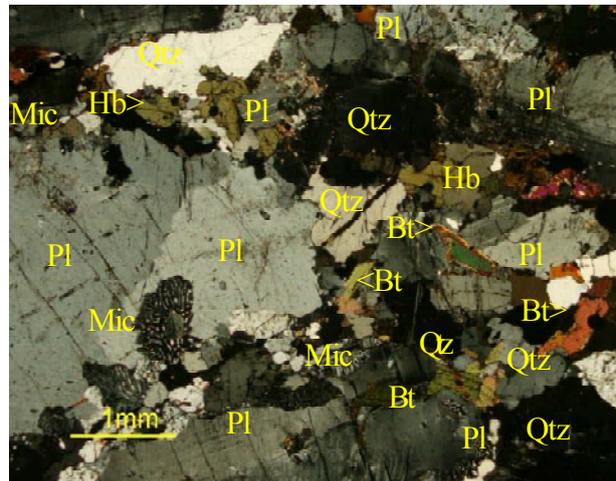


Figura 4.2.85. La imagen anterior, en nicoles cruzados. A destacar las simplectitas.

Figure 4.2.85. The above image, in crossed polars. Qtz, cuarzo, Pl, plagioclasa, Mic, microclina. Hb, hornblenda, Bt, biotita, Mt, magnetita. Note symplectites.

Se trata de rocas cuarzomonzoníticas biotítico-hornbléndicas, compuestas por plagioclasa, poco cuarzo, feldespato potásico, biotita, hornblenda y augita diopsídica.

El clinopiroxeno es escaso, diopsídico y se ve reemplazado pseudomórficamente por hornblenda de color verde oliváceo (fig. 4.2.82 a 4.2.87). La biotita es de formación tardía, posterior a la hornblenda, con el típico color anaranjado distintivo de las biotitas ricas en

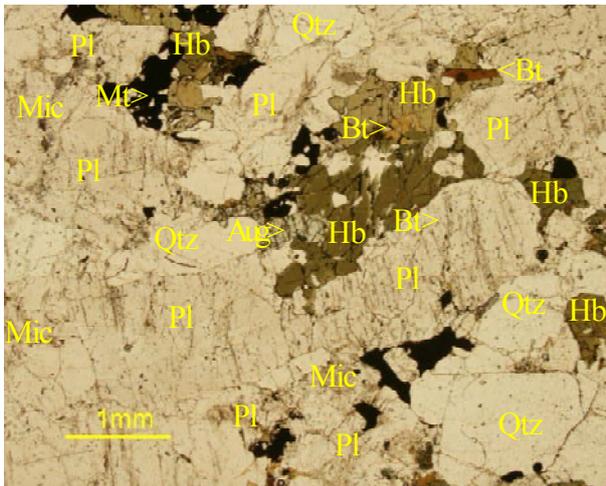


Figura 4.2.86. Cuarzomonzonita de Duguech. Qtz, cuarzo, Pl, plagioclasa, Mic, microclina. Hb, hornblenda, Bt, biotita, Mt, magnetita. Muestra csa38. PPL  
 Figure 4.2.86. Quartzmonzonite from Duguech. Sample csa38. PPL.

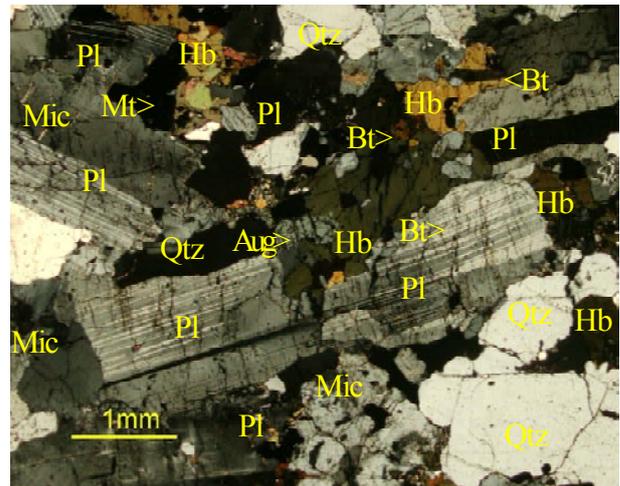


Figura 4.2.87 La imagen anterior, en nicoles cruzados. A remarcar el piroxeno alterado.  
 Figure 4.2.87. The above image, in crossed polars. Aug, augite, Qtz, quartz, Pl, plagioclase, Mic, microcline. Hb, hornblende, Bt, biotite, Mt, magnetita.

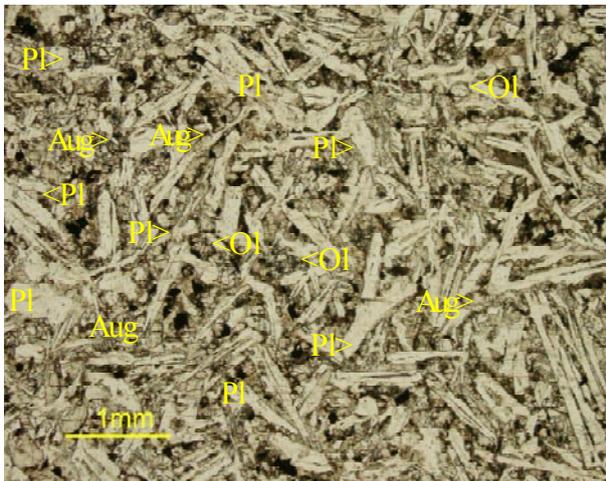


Figura 4.2.88. Diabasa olivínica de Gleibat Lealaiat. Ol, olivino, Aug, augita, Pl, plagioclasa. Muestra csa69. PPL.  
 Figure 4.2.88. Olivine diabase from Gleibat Lealaiat. Sample csa69. PPL. Ol, olivine, Aug, augite, Pl, plagioclase.

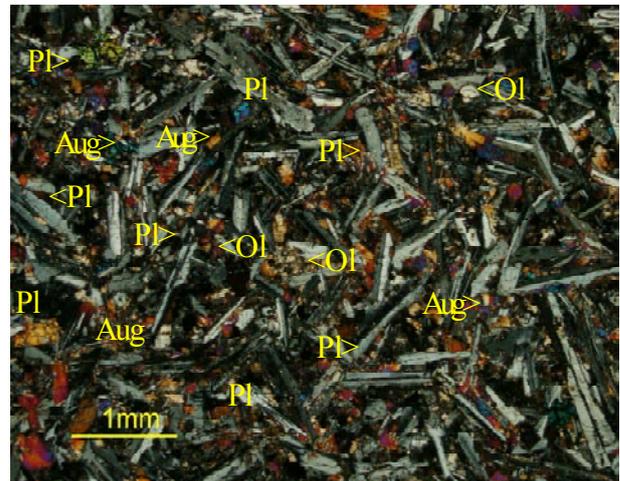


Figura 4.2.89 La imagen anterior, en nicoles cruzados. Nótese la textura ofítica.  
 Figure 4.2.89. The above image, in crossed polars. Note ophitic texture.

Ti. La plagioclasa es alotriomórfica, de grano grueso (hasta cm); casi no presenta maclado y no está zonada. La microclina es muy rara en la roca, si bien la presencia de abundantes mirmequitas con feldespato potásico y cuarzo reemplazando plagioclasa podría ser indicativa de fenómenos de anatexia o de reemplazamiento por magmas alcalinos, acaso vinculados con el magmatismo alcalino que también se da en la zona.

#### 4.2.3.3. Intrusiones de diabasas alcalinas del Paleoproterozoico (?)

Aparecen como diques de direcciones variables, no tan comunes como en el dominio SW. Están compuestos por intercrecimientos ofíticos de augita, olivino y plagioclasa (figura 4.2.88, 4.2.89). Posiblemente estén asociadas con el magmatismo alcalino del área.



Figura 4.2.90. Dique fonolítico de Izblan . Nef, fenocristales de nefelina. Muestra csa43b. PPL.

Figure 4.2.90. Phonolite dike from Izblan. Nef, nepheline phenocrysts. Sample csa43b. PPL.

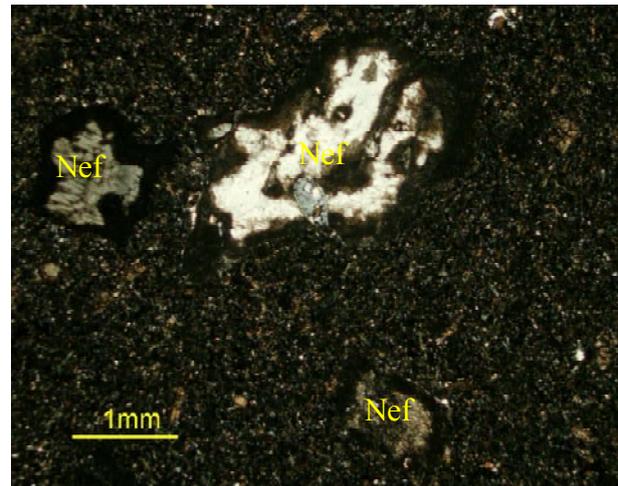


Figura 4.2.91. La imagen anterior, en nicoles cruzados. A remarcar la alteración de la nefelina y su textura en golfo, y la alteración de la matriz.

Figure 4.2.91. The above image, in crossed polars. Note alteration in nepheline and her texture in gulf, and the alteration of the matrix.

#### 4.2.3.4. Intrusiones de diques fonolíticos del Paleoproterozoico (?)

Son diques menos abundantes que los anteriores. Un ejemplo de los mismos aparece en las colinas de Gleibat Izablan, y se muestra en las imágenes adjuntas (figuras 4.2.90, 4.2.91).

Están constituidos por fenocristales y matriz. Los fenocristales son de nefelina hipidiomórfica, con cristales prismáticos hexagonales de hábito corto acabados con pinacoide, que han sufrido reabsorción por la matriz resultando crecimientos en golfo. Se encuentran muy alterados.

La matriz es de grano muy fino, criptocristalino, no resoluble con el microscopio óptico, y se encuentra asimismo muy alterada. No obstante, se reconocen cloritas de color verde pálido como producto de reemplazamiento de algún mineral máfico de la matriz, acaso piroxenos. El resto de minerales tiene una tonalidad oscura que sugiere la presencia de piroxeno alcalino en la asociación, posiblemente mezclado con feldespato alcalino de tamaño de grano muy fino, minerales opacos y minerales de alteración secundarios, posiblemente carbonatos o zeolitas.

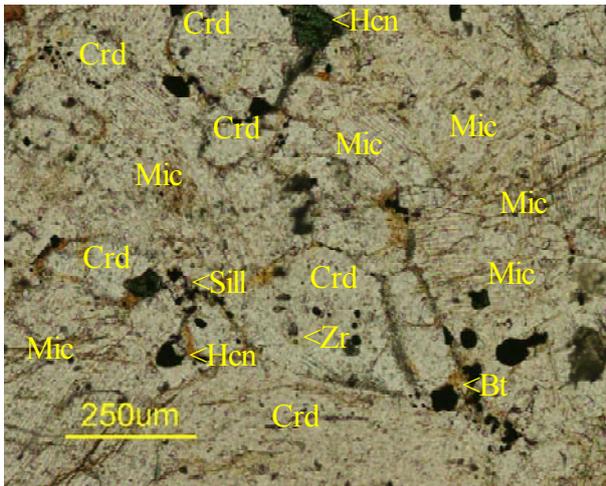


Figura 4.2.40. Granulita peraluminica de Galb Legteitira. Mic, microclina, Crd, cordierita, Hcn, hercinita, Sill, sillimanita, Zr, zircón. Muestra csa53. PPL.

Figure 4.2.40. Peraluminic granulite from Galb Legteitira. Sample csa53. PPL.

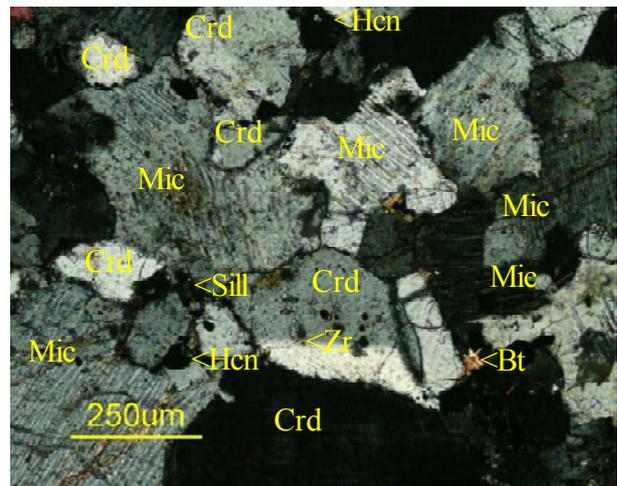


Figura 4.2.41. La imagen anterior, en nícoles cruzados. El zircón produce aureolas metamícticas sobre la cordierita.

Figure 4.2.41. The above image, in crossed polars. Mic, microcline, Crd, cordierite, Hcn, hercinite, Sill, sillimanite, Zr, zircon with metamictic haloes on cordierite.

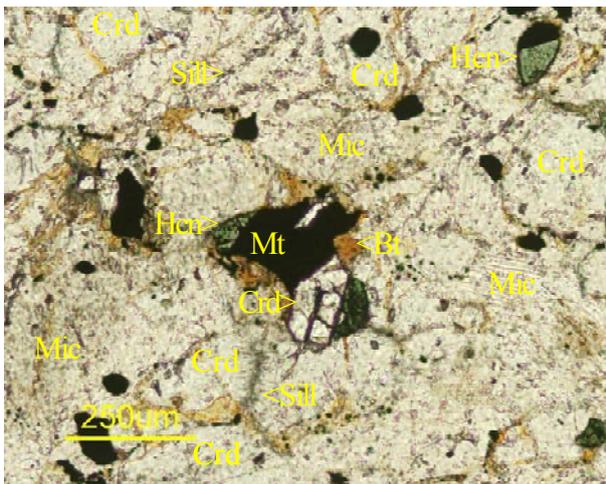


Figura 4.2.42. Granulita peraluminica de Galb Legteitira. Mic, microclina, Crd, cordierita, Zr, zircón, Hcn, hercinita, Crd, corindón, Bt, biotita, Sill, sillimanita, Mt, magnetite. Muestra csa53. PPL.

Figure 4.2.42. Peraluminic granulite from Galb Legteitira. Sample csa53. PPL.

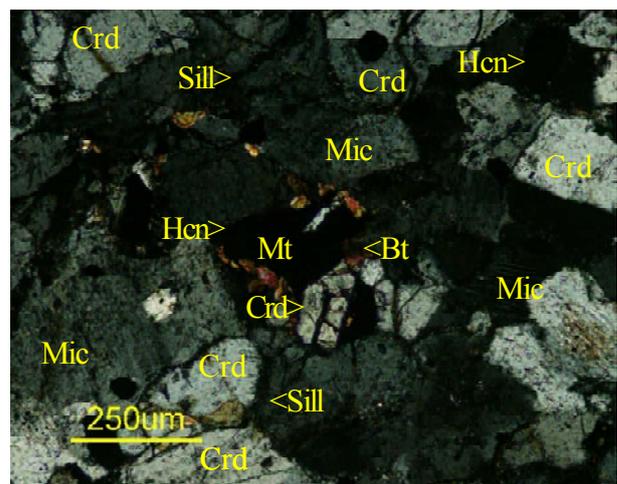


Figura 4.2.43. La imagen anterior, en nícoles cruzados.

Figure 4.2.43. The above image, in crossed polars. Mic, microcline, Crd, cordierite, Zr, zircon, Hcn, hercinite, Bt, biotite, Sill, sillimanite, Crd, corundum, Mt, magnetite.

#### 4.2.2.3. Otras rocas peraluminicas en facies granulitas

En Galb Legteitira afloran rocas con textura granoblástica, de grano fino a medio, constituidas por feldespato potásico (25-45% modal), cordierita (20-25% modal), plagioclasa (hasta 5% modal), hercinita (5-15% modal), biotita pobre en Fe (menos del 5% modal), sillimanita fibrolítica (hasta 5%

modal), corindón (menos del 5% modal) y magnetita (menos del 5% modal), con menores cantidades de circón y apatito de grano muy fino (figs. 4.2.40-4.2.43).

El corindón forma cristales alotriomórficos, incoloros, asociados con hercinita (fig. 4.2.42, 4.2.43).

La cordierita puede presentar maclado polisintético o cíclico, y aureolas metamícticas (fig. 4.2.40-4.2.41).

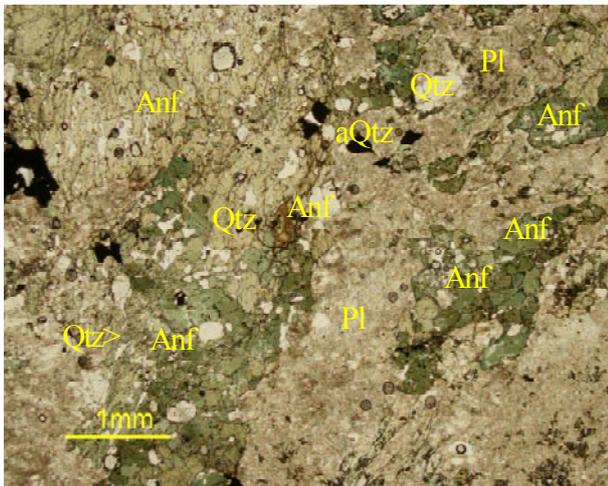


Figura 4.2.44. Anfibolita foliada (facies granulitas) del SE de Quediat Tengafaf. Qtz, cuarzo, Anf, anfíbol verde, Pl, plagioclasa. Muestra csa42. PPL. El anfíbol es pleocroico.

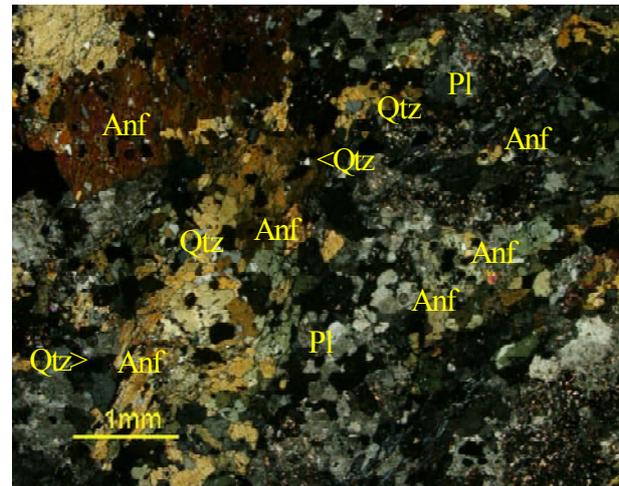


Figura 4.2.45. La imagen anterior, en nicoles cruzados. A remarcar los bordes de equilibrio entre los cristales.

Figure 4.2.45. The above image, in crossed polars. Qtz, quartz, Anf, Amphibole, Pl, plagioclase. Note equilibria textures among amphibole, quartz and plagioclase.

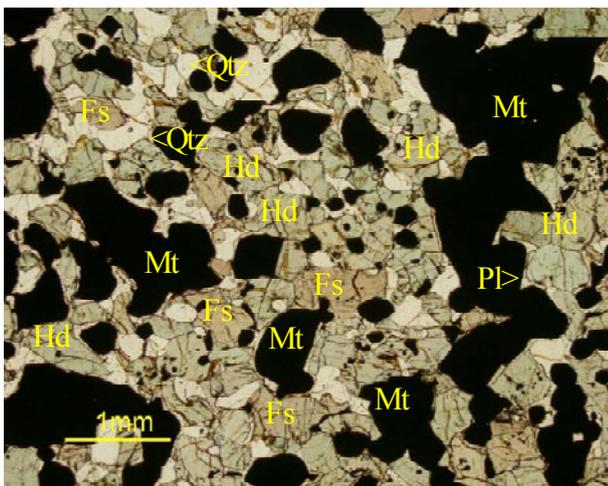


Figura 4.2.46. BIF de Galb Admar. Qtz, cuarzo, Fs, ferrosilita, Pl, plagioclasa, Mt, magnetita, Hd, hedenbergita. Muestra csa48. PPL.

Figure 4.2.46. BIF from Galb Admar. Sample csa48, PPL. Qtz, quartz, Pl, plagioclase, Fs, ferrosilite, Hd, hedenbergite, Mt, magnetite.

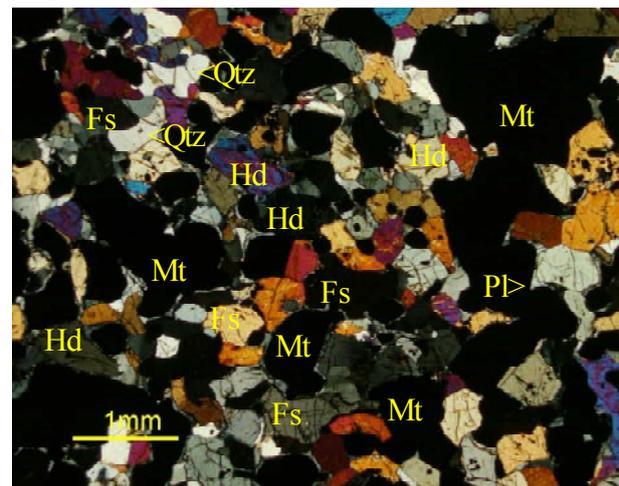


Figura 4.2.47. La imagen anterior, en nicoles cruzados. La ferrosilita presenta extinción recta; la plagioclasa es intersticial.

Figure 4.2.47. The above image, in crossed polars. Ferrosilite has straight extinction; plagioclase is interstitial.

#### 4.2.2.4. Anfibolitas

Son rocas foliadas, de grano medio, constituidas por anfíbol verde con fuerte pleocroísmo (hornblenda s.l.), plagioclasa y pequeñas cantidades de cuarzo (fig. 4.2.44, 4.2.45), por lo que pueden corresponder en algunos casos a rocas vulcanoclásticas metamorizadas. Son rocas poco abundantes en esta zona.

#### 4.2.2.5. BIF

Se encuentran pocos afloramientos de este tipo de rocas en esta zona. Se trata de niveles de potencia métrica.

La proporción de cuarzo es muy variable (hasta 45% modal, pero a menudo menos del 20%). La magnetita alcanza hasta un 55% modal, y en ella se presentan a menudo reemplazamientos por hematitas supergénica

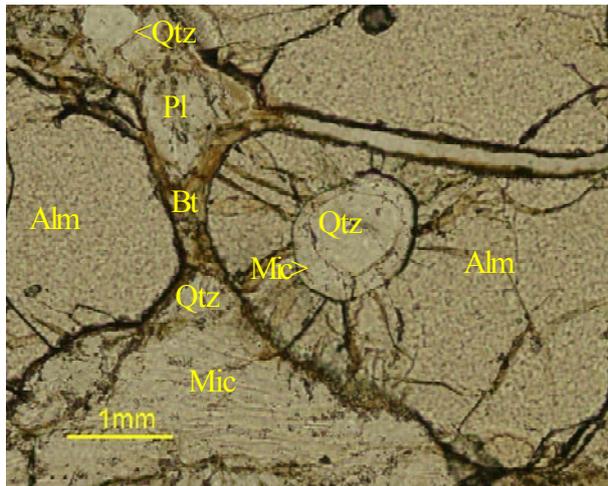


Figura 4.2.48. Migmatitas de Galb Admar. Qtz, cuarzo, Alm, almandino, Pl, plagioclasa, Mic, microclina, Bt, biotita. Muestra csa49. PPL.

Figure 4.2.48. The Galb Admar migmatites. Qtz, quartz, Pl, plagioclase, Mic, microcline, Alm, almandine, Bt, biotite. Sample csa49. PPL.

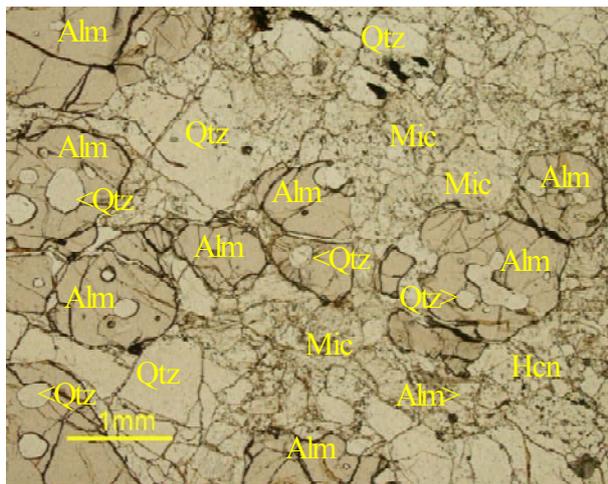


Figura 4.2.50. Migmatitas de Galb Admar. Qtz, cuarzo, Alm, almandino, Pl, plagioclasa, Mic, microclina. Muestra csa49. PPL.

Figure 4.2.50. The Galb Admar migmatites. Qtz, quartz, Pl, plagioclase, Mic, microcline, Alm, almandine. Sample csa49. PPL.

(martitización). Se reconocen dos piroxenos (ferrosilita y hedenbergita) que pueden alcanzar hasta el 50% modal, indicando metamorfismo en grado muy alto, como corresponde a facies granulitas; fig. 4.2.46, 4.2.47). Puede haber pequeñas cantidades de plagioclasa intersticial, apatito y zircón. Por lo general las rocas tienen una textura granoblástica, indicativa de un fuerte grado de recristalización por metamorfismo.

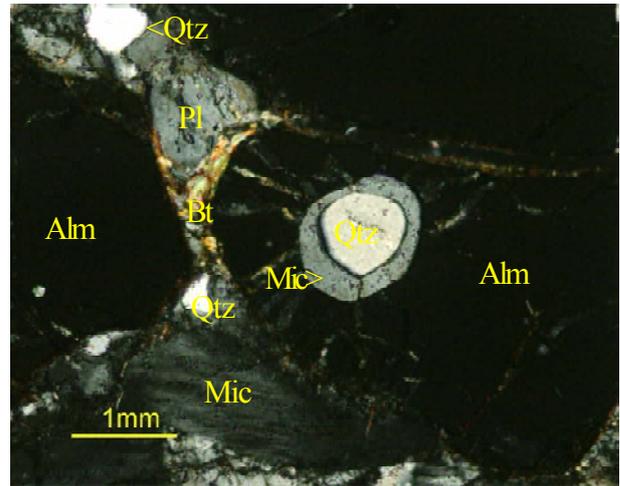


Figura 4.2.49. La imagen anterior, en nicoles cruzados. Nótese las inclusiones redondeadas de cuarzo y feldespatos en granate.

Figure 4.2.49. The above image, in crossed polars. Qtz, quartz, Pl, plagioclase, Mic, microcline, Alm, almandine. Note rounded inclusions in garnet.

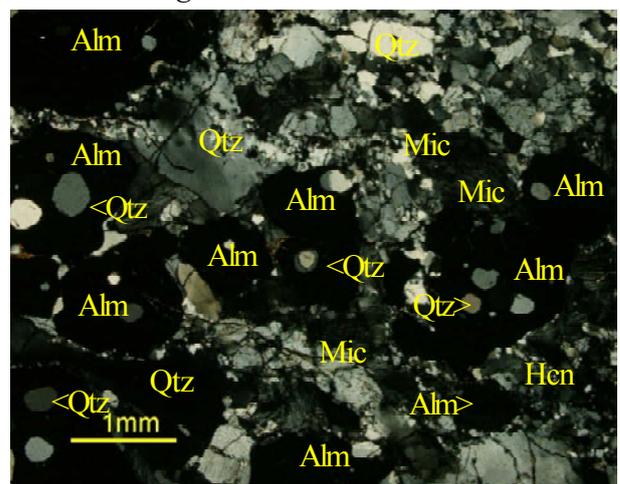


Figura 4.2.51. La imagen anterior, en nicoles cruzados. Nótese las inclusiones redondeadas de cuarzo y feldespatos en granate.

Figure 4.2.51. The above image, in crossed polars. Qtz, quartz, Pl, plagioclase, Mic, microcline, Alm, almandine. Note rounded inclusions in garnet.

#### 4.2.2.5. Migmatitas

En el dominio analizado existen rocas de composiciones variables que pueden corresponder a estas tipologías. Un grupo, que aflora en las inmediaciones de Galb Admar, consta de rocas constituidas mayoritariamente por granate almandino, con menores proporciones de cuarzo, plagioclasa, biotita y feldespato potásico (figs. 4.2.48 a 4.2.49). El

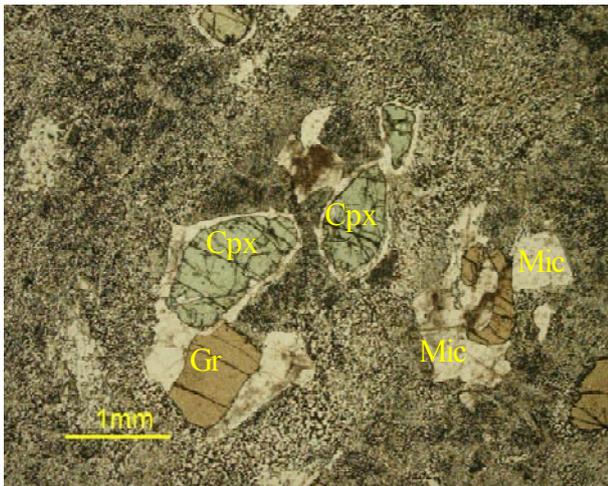


Figura 4.2.52. Granulita máfica de Agueinit. Gr, granate grosularia-andradita, Cpx, clinopiroxeno hedenbergítico, Mic, microclina Muestra csa66. PPL.

Figure 4.2.52. Mafic granulite from Agueinit. Sample csa66. PPL.

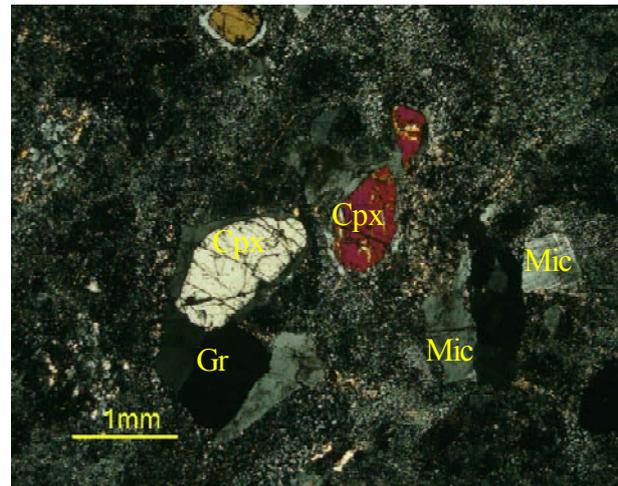


Figura 4.2.53 La imagen anterior, en nicoles cruzados. A remarcar las texturas simplectíticas intersticiales entre los granates y piroxenos.

Figure 4.2.53. The above image, in crossed polars. Note equilibria textures among amphibole, quartz and plagioclase.

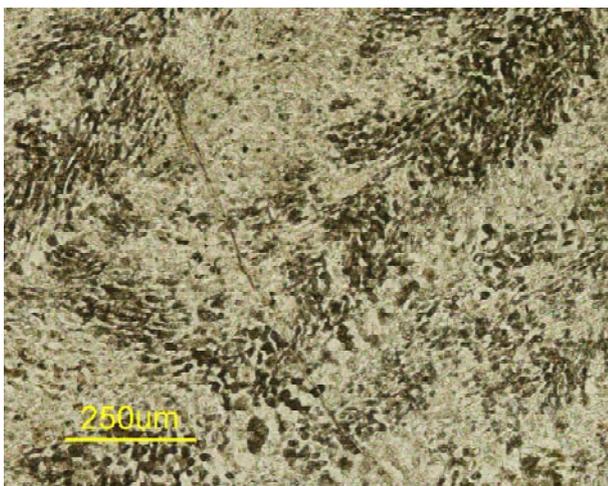


Figura 4.2.54. Granulita máfica de Agueinit (detalle a gran aumento de las simplectitas). Muestra csa66. PPL.

Figure 4.2.54. Mafic granulite from Agueinit. Sample csa66, PPL. Detail of the simplectites under higher magnification.

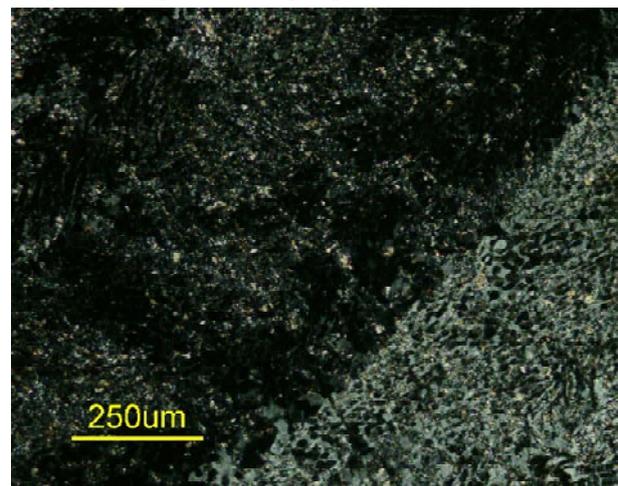


Figura 4.2.55. La imagen anterior, en nicoles cruzados. Nótese maclado simple en el feldespato potásico.

Figure 4.2.55. The above image, in crossed polars. Note simple twinning in the feldspars.

granate es poiquiloblástico, rico en inclusiones redondeadas de cuarzo y feldespato potásico (figs. 4.2.48 a 4.2.49).

#### 4.2.2.6. Granulitas máficas

En el complejo metamórfico de Agueinit afloran paquetes potentes de rocas ricas en granate cálcico (grosularia-andradita) y

clinopiroxeno rico en Fe (posiblemente, hedenbergita). Estos minerales forman cristales redondeados que se encuentran en una matriz de grano aparentemente muy fino, con textura simplectítica (figs. 4.2.52 a 4.2.53). No obstante, a gran aumento puede apreciarse que parte de los componentes intersticiales son grandes cristales de feldespato potásico maclados (fig. 4.2.54, 4.2.55). Estas asociaciones pueden corresponder a granulitas

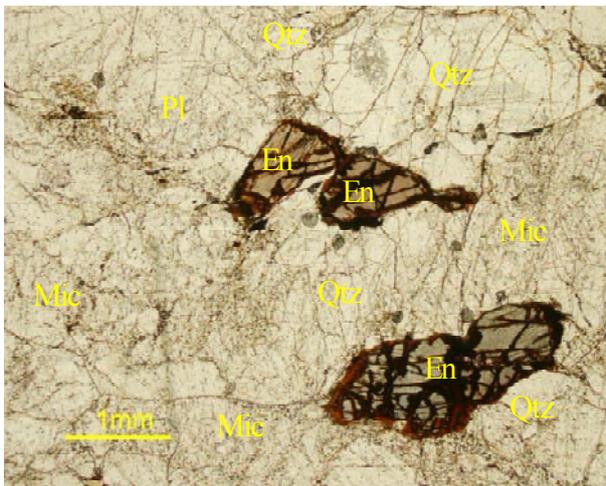


Figura 4.2.56. Charnockita granodiorítica (opdalita) del Norte de Galb Legteitira. Qtz, cuarzo, Mic, microclina, En, enstatita parcialmente alterada. Muestra csa51. PPL.  
Figure 4.2.56. Granodioritic charnockite (opdalite) from the North of Galb Legteitira. Qtz, quartz, Mic, microcline, En, enstatite. Sample csa51. PPL.

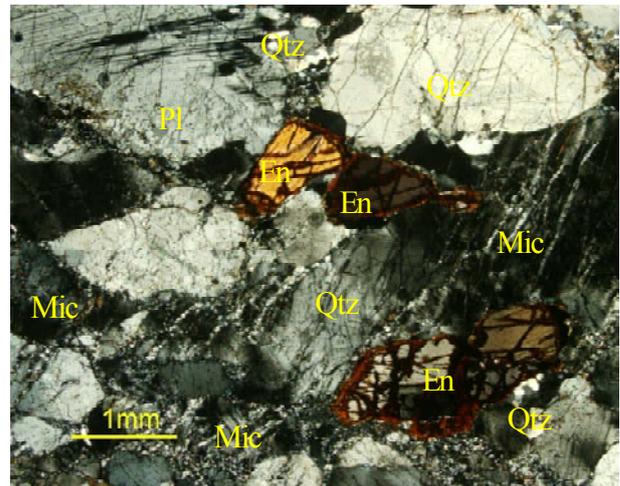


Figura 4.2.57. La imagen anterior, en nicoles cruzados. Nótese la textura granuda, algo decusada.  
Figure 4.2.57. The above image, in crossed polars. Note the granular texture, slightly deformed. Enstatite is partly altered.

Figure 4.2.57. The above image, in crossed polars. Note the granular texture, slightly deformed. Enstatite is partly altered.

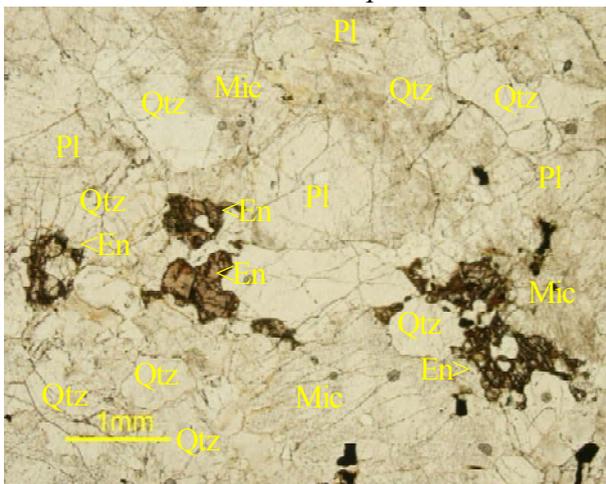


Figura 4.2.58. Charnockitas tonalíticas (enderbitas) al Este de Izblan. Qtz, cuarzo, En, enstatita, Pl, plagioclasa, Mic, microclina. Muestra csa44. PPL.  
Figure 4.2.58. Tonalitic charnockites (enderbitas) E of Izblan. Qtz, quartz, Pl, plagioclase, Mic, microcline, En, enstatite. Sample csa44. PPL.

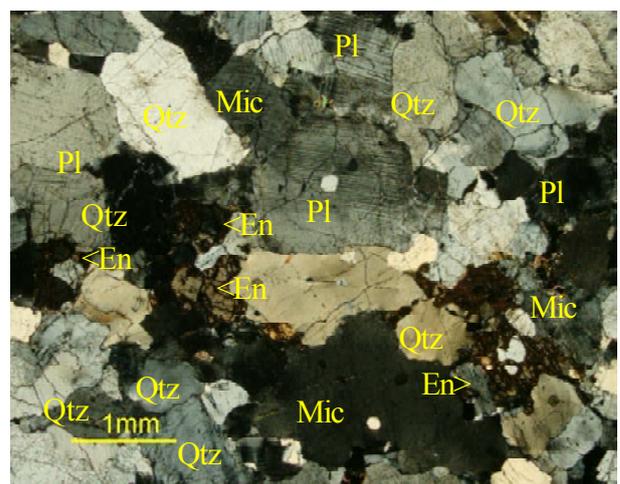


Figura 4.2.59. La imagen anterior, en nicoles cruzados. Nótese las inclusiones redondeadas de cuarzo y feldespatos en granate.  
Figure 4.2.59. The above image, in crossed polars. Qtz, quartz, Pl, plagioclase, Mic, microcline, Alm, almandine. Note rounded inclusions in garnet.

Figure 4.2.59. The above image, in crossed polars. Qtz, quartz, Pl, plagioclase, Mic, microcline, Alm, almandine. Note rounded inclusions in garnet.

máficas que hayan sufrido fenómenos metasomáticos durante el metamorfismo regional, con circulación de magmas ácidos que habrían reaccionado con las granulitas básicas.

#### 4.2.3. CHARNOCKITAS s.l.

Los cuerpos de charnockitas forman intrusiones de forma elongada, que constituyen

por su mayor resistencia a la erosión algunas de las pequeñas alineaciones de montes en dirección NW-SE de la zona. Son rocas de textura granuda, generalmente granoblástica, pero a veces foliadas, de composición granítica a tonalítica o eventualmente monzonítica o sienítica. Están constituidas por proporciones variables de cuarzo, plagioclasa, microclina, biotita y ortopiroxeno, resultando composiciones variables entre charnockitas

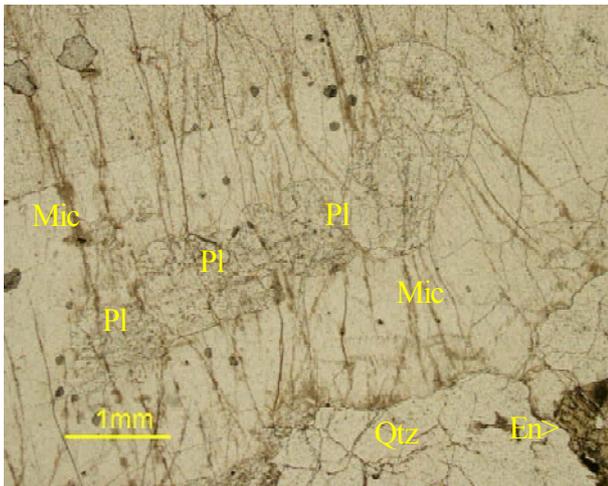


Figura 4.2.60. Charnockita de Izablan. Plagioclasa (Pl) reemplazada por microclina (Mic) en presencia de cuarzo (Qtz) y enstatita (En). Muestra csa43b. PPL.

Figure 4.2.60. Charnockite (Izablan). Plagioclase (Pl) replaced by microcline (Mic) along with quartz (Qtz) and enstatite (En). Sample csa43b. PPL.

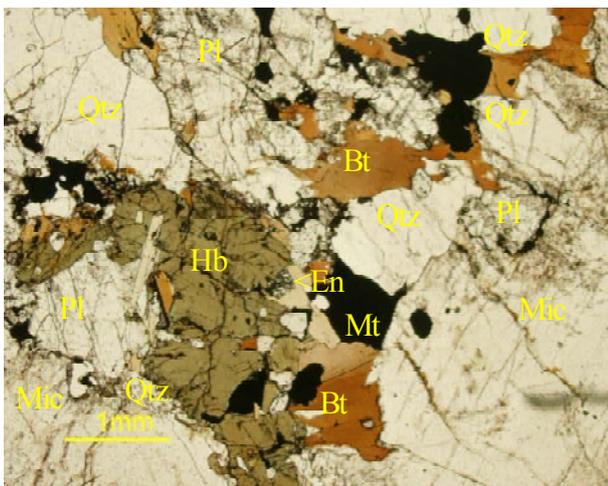


Figura 4.2.62. Charnockita de Izablan. Muestra csa43b. PPL. Bt, biotita, Qtz, cuarzo, Pl, plagioclasa, Mic, microclina, En, enstatita, Hb, hornblenda, Mt, magnetita.

Figure 4.2.62. Charnockite from Izablan Sample csa43b, PPL.

s.s., opdalitas, enderbitas e incluso mangeritas (figs.4.2.56 a 4.2.63).

Las charnockitas pueden presentar diversos grados de alteración por diversos tipos de procesos; entre ellos, muchas de estas charnockitas se ven afectadas por procesos metasomáticos, relacionados con procesos anatécicos. De este modo, es común ver plagioclasas reemplazadas por feldespato

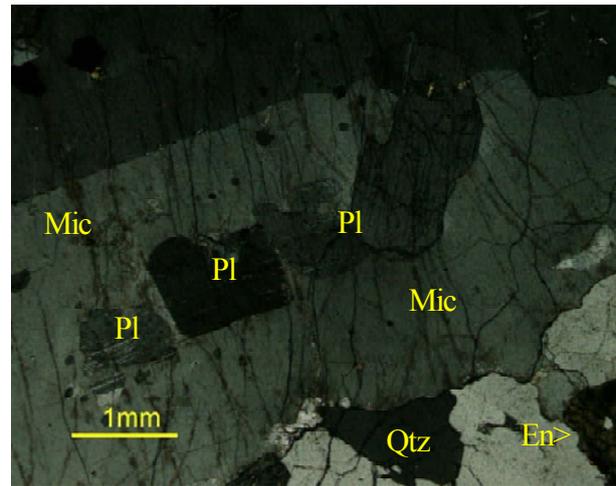


Figura 4.2.61 La imagen anterior, en nícoles cruzados. Nótese la corrosión de los cristales de plagioclasa.

Figure 4.2.61. The above image, in crossed polars. Note the corrosion in the plagioclase crystals.

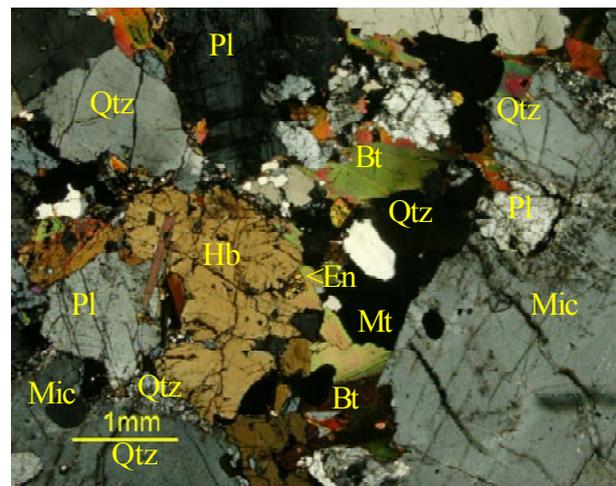


Figura 4.2.63. La imagen anterior, en nícoles cruzados.

Figure 4.2.63. The above image, in crossed polars. Bt, biotite, Qtz, quartz, Pl, plagioclase, Mic, microcline, En, enstatite, Hb, hornblende, Mt, magnetite.

potásico (fig. 4.2.60, 4.2.61) en forma de megacristales, pero también en forma de intercrecimientos simplectíticos con cuarzo.

Por otra parte, el ortopiroxeno no siempre se encuentra bien preservado. De este modo, en algunos casos, puede haber sido reemplazado por anfíbol, en lo que podría ser un proceso de reemplazamiento tardío relacionado con la entrada de fluidos al sistema

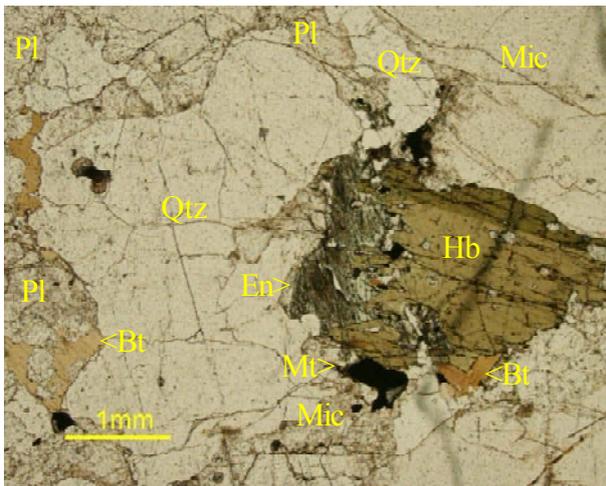


Figura 4.2.64. Charnockita de Izablan. Bt, biotita, Qtz, cuarzo, Pl, plagioclasa, Mic, microclina, En, enstatita, Hb, hornblenda, Mt, magnetita. Muestra csa43b. PPL.

Figure 4.2.64. Charnockite (Izablan). Bt, biotite, Qtz, quartz, Pl, plagioclase, Mic, microcline, En, enstatite, Hb, hornblende, Mt, magnetite. Csa43b. PPL.

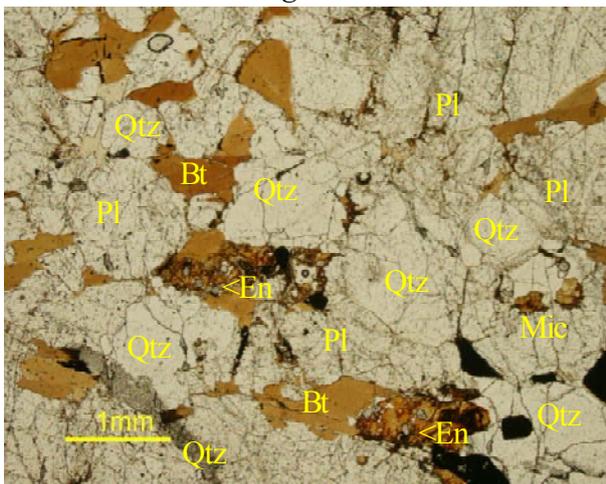


Figura 4.2.66. Charnoquita alterada del S de Degen. Qtz, cuarzo, En, enstatita, Pl, plagioclasa, Mic, microclina, Bt, biotita. Muestra csa46. PPL.

Figure 4.2.66. Altered charnockite, S of Degen. Qtz, quartz, Pl, plagioclase, Mic, microcline, Alm, almandine. Sample csa46. PPL.

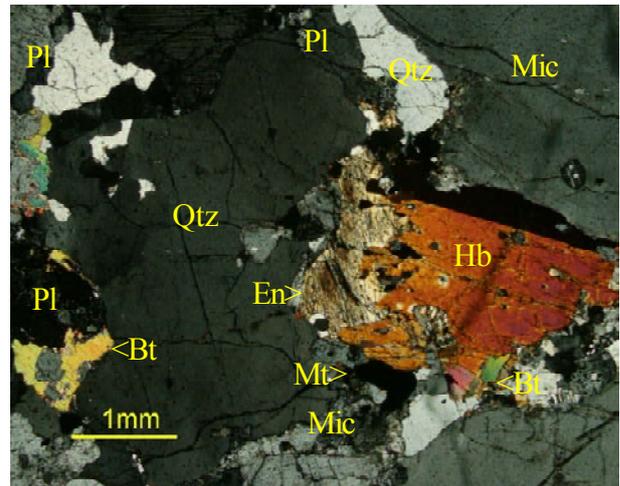


Figura 4.2.65. La imagen anterior, en nicoles cruzados. Nótese el reemplazamiento de piroxeno por anfíbol de grano grueso.

Figure 4.2.65. The above image, in crossed polars. Note that the amphibole replaces the orthopyroxene.

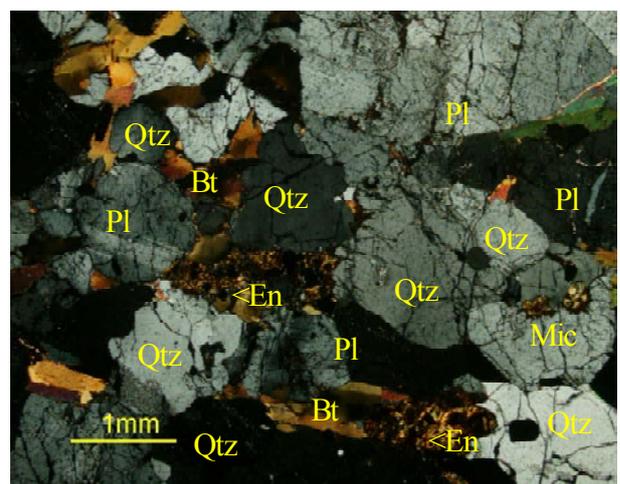


Figura 4.2.67. La imagen anterior, en nicoles cruzados. Nótese el reemplazamiento de enstatita por biotita y óxidos de Fe secundarios.

Figure 4.2.67. The above image, in crossed polars. Note that enstatite is replaced by biotite and supergene hydroxides.

(fig. 4.2.62 a 4.2.65). En otros casos, se ve reemplazado por biotita, proceso que puede tener un mecanismo genético afín al anterior, e incluso por minerales supergénicos como diversos óxidos e hidróxidos de hierro (fig. 4.2.66, 4.2.67).

Otros minerales accesorios se encuentran casi siempre en muy pequeña proporción. La magnetita es el mineral máfico más abundante

(pero en cantidades inferiores al 5% modal), y puede estar parcialmente reemplazada por hematitas según las exfoliaciones (martitización). Las proporciones de zircón y apatito son mucho menores. Estos minerales casi siempre aparecen como inclusiones de tamaño de grano muy fino dentro de otros minerales, principalmente feldespatos, enstatita y biotita.

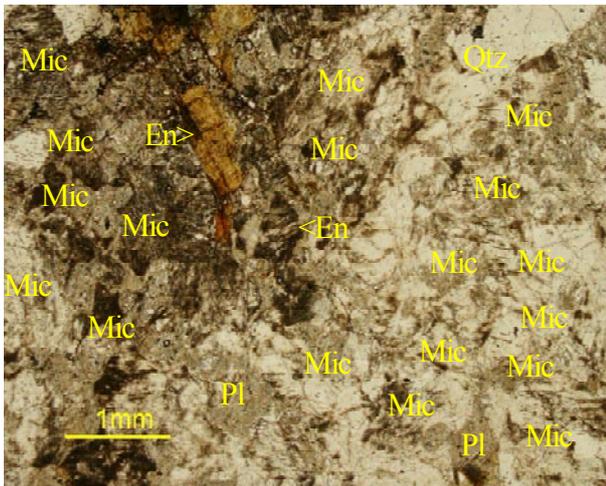


Figura 4.2.68. Cuarzomangerita de Galb Admar. En, enstatita, Qtz, cuarzo, Pl, plagioclasa, Mic, microclina. Muestra csa50. PPL.

Figure 4.2.68. Quartzmangerite from Galb Admar. Sample csa50. PPL.

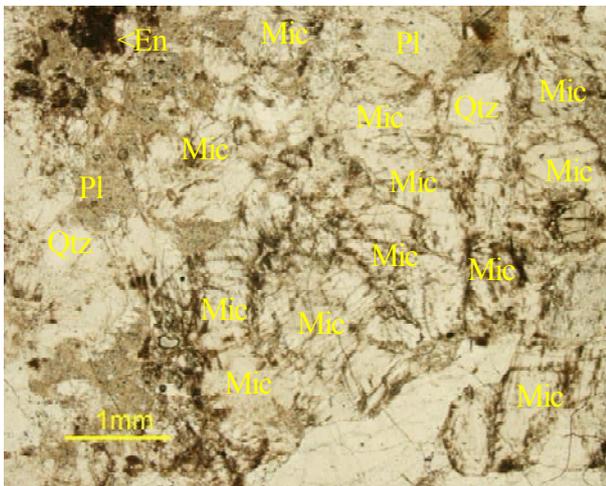


Figura 4.2.70. Cuarzomangerita de Galb Admar. En, enstatita, Qtz, cuarzo, Pl, plagioclasa, Mic, microclina. Muestra csa50. PPL.

Figure 4.2.70. Quartzmangerite from Galb Admar. En, enstatite, Qtz, quartz, Pl, plagioclase, Mic, microcline. Sample csa50. PPL.

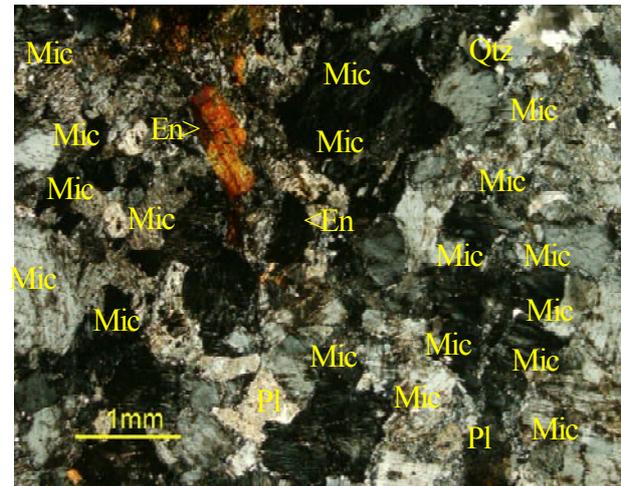


Figura 4.2.69. La imagen anterior, en nicoles cruzados. A remarcar el ortopiroxeno alterado. Figure 4.2.69. The above image, in crossed polars. En, enstatite, Qtz, quartz, Pl, plagioclase, Mic, microcline. Note the alteration of orthopyroxene.

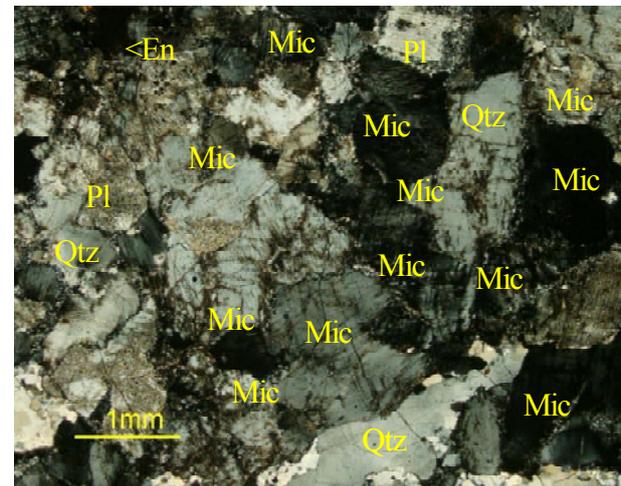


Figura 4.2.71. La imagen anterior, en nicoles cruzados. Nótese el predominio de feldespatos potásico. Figure 4.2.71. The above image, in crossed polars. Note the high content of K-feldspar.

Algunos afloramientos de charnockitas, como los de Galb Admar (fig. 4.2.68 a 4.2.71), corresponden a rocas muy pobres en cuarzo (menos del 10% modal), con fuerte predominio del feldespato potásico (en torno al 70% modal) sobre la plagioclasa, y con menores cantidades de ortopiroxeno. Estas rocas pueden clasificarse como charnockitas cuarzosieníticas o mangeritas. El feldespato potásico es alotriomórfico y

claramente pertítico, pero no se aprecia en él maclado en parrilla. La plagioclasa es alotriomórfica y muy escasa; se encuentra maclada según la ley de la albita pero casi siempre está sericitizada. El cuarzo se encuentra en posición intersticial entre los anteriores minerales. Finalmente, el ortopiroxeno es hipidiomórfico, con hábito prismático y se encuentra a menudo muy alterado a anfíboles y óxidos de Fe.

## 4.2. EL DOMINIO DE LAYUAD: PETROGRAFIA

### 4.2.1. ESTRUCTURA GENERAL

Como en el caso de la zona del S del Tiris, el área de Layuad se encuentra hacia la parte central del desierto del Tiris. Desde un punto de vista geomorfológico, se trata de una

extensa penillanura de muy suave pendiente hacia el SW, en la que se reconocen escasas depresiones ocupadas por lagunas evaporíticas (sabkhas), así como algunos cerros testigo aislados o agrupados formando pequeñas cordilleras (fig. 4.2.1).

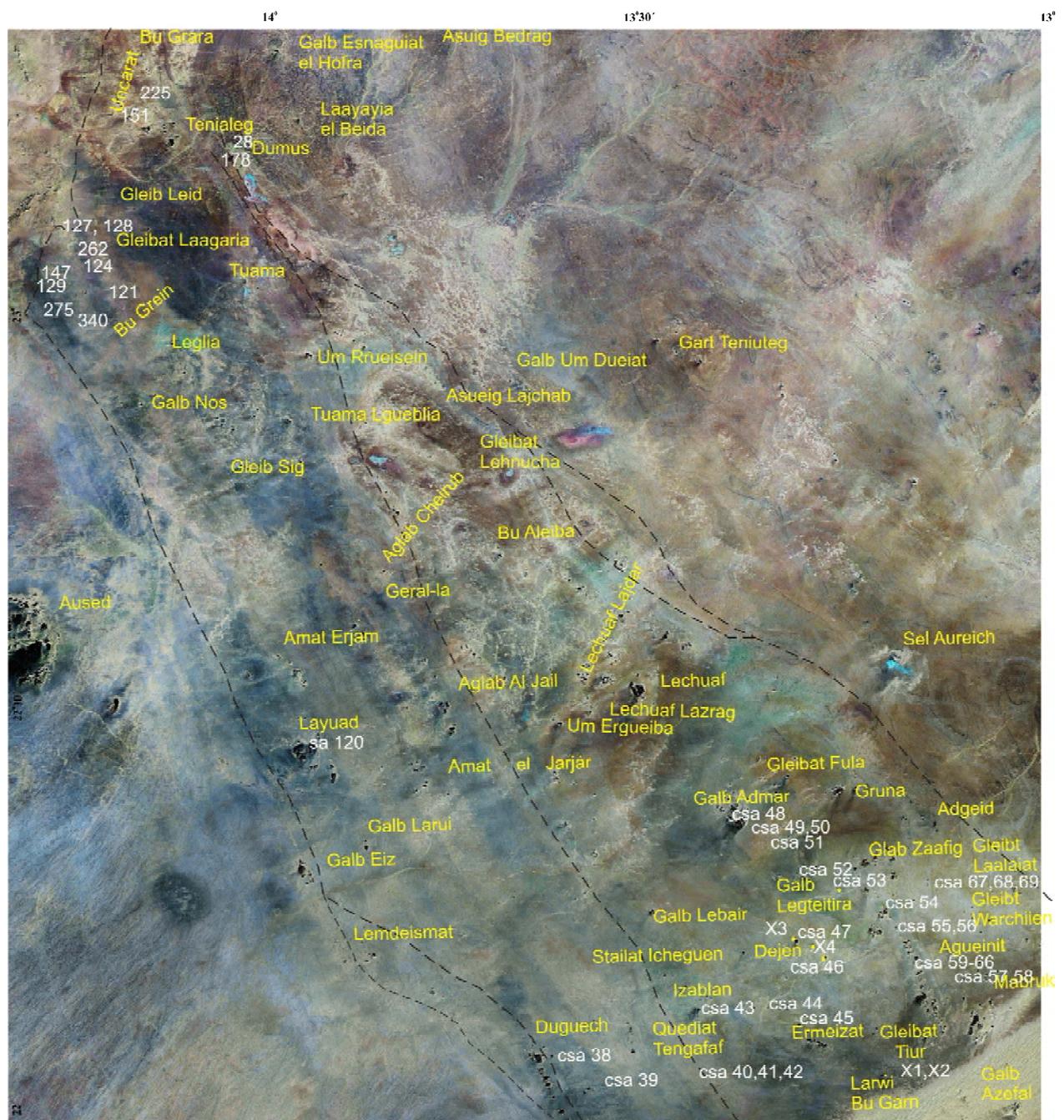
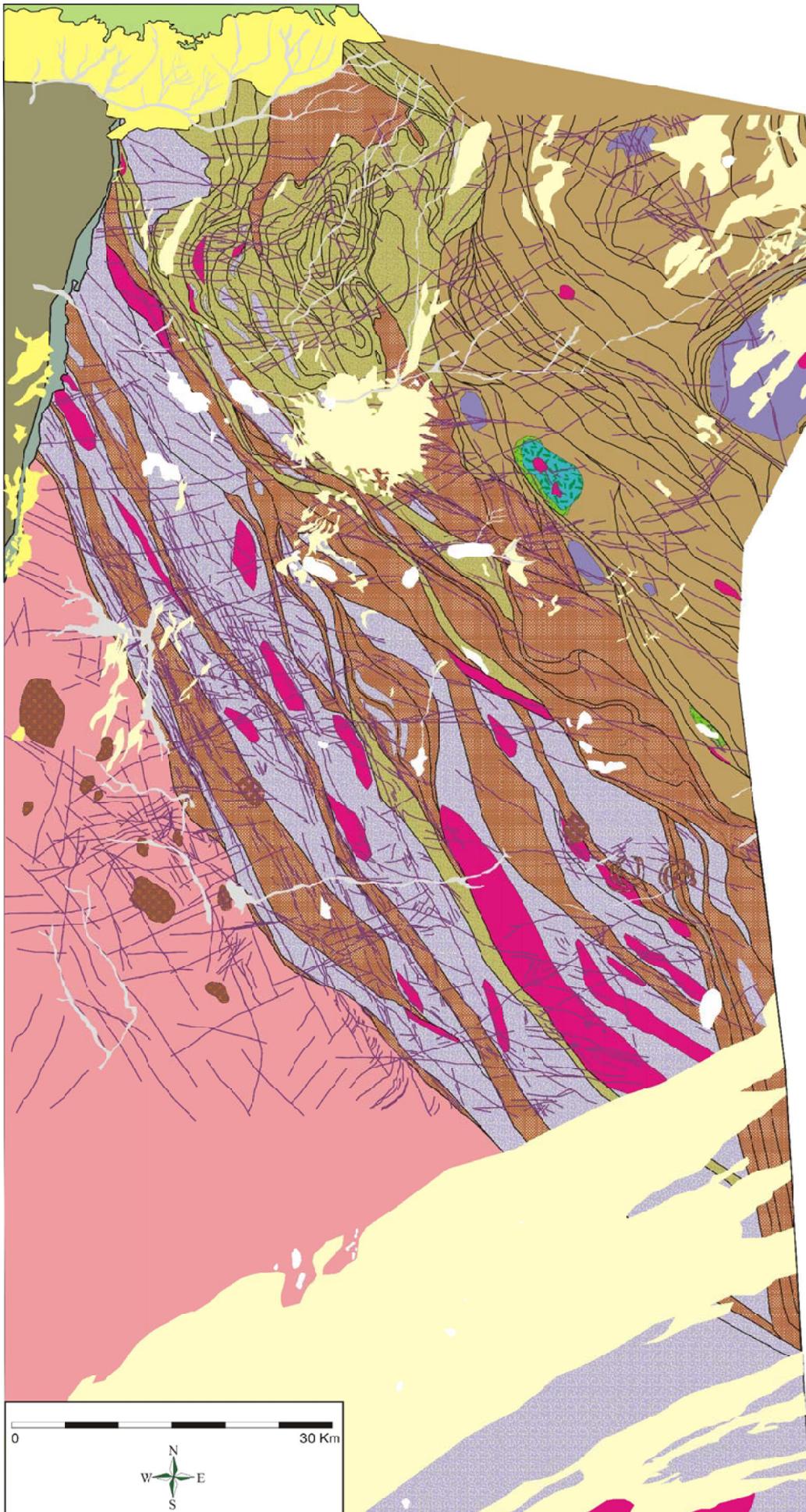


Figura 4.2.1. Foto satélite del dominio de Layuad con la situación de las muestras.

Figure 4.2.1. Satellital image of the Layuad domain showing the sample sites.



**Leyenda del mapa geológico**  
**Legend of the geological map**

-  Dunas arenosas y costras (Cuaternario)  
*Sand dunes and crusts (Quaternary)*
-  Yeso, sal (sabkha)(Cuaternario)  
*Gypsum, salt (sabkha)(Quaternary)*
-  Sedimentos aluviales en wadi: arenas, gravas (Cuaternario)  
*Alluvial sediments in wadis: sands, gravels (Quaternary)*
-  Sedimentos coluviales: arenas, conglomerados (Cuaternario)  
*Colluvial sediments: sandstones, conglomerates (Quaternary)*
-  Rocas cristalinas de los Mauritánides  
*Crystalline rocks of the Mauritanides*
-  Series del Paleozoico  
*Paleozoic series*
-  Diques de diabasa  
*Dolerite dikes*
-  Rocas alcalinas saturadas y sienitas del Paleoproterozoico inferior Sideriense (2490 Ma)  
*Saturated alkaline rocks and syenites of the Lower Paleoproterozoic (2490 Ma)*
-  Rocas alcalinas subsaturadas del Paleoproterozoico inferior Sideriense (2490 Ma)  
*Undersaturated alkaline rocks and syenites of the Lower Paleoproterozoic (2490 Ma)*
-  Series de metapelitas, rocas vulcanosedimentarias, BIF y mármoles (Neoarcaico-Paleoproterozoico?)  
*Series with metapelites, vulcanosedimentary rocks, BIF and marbles (Neoarchean-Paleoproterozoic?)*
-  Niveles potentes de BIF  
*Thick BIF beds*
-  Mármoles  
*Marbles*
-  Granulitas, enderbitas, charnoquitas del Neoarcaico (2530 Ma)  
*Granulites, enderbites, charnockites of the Neoarchean (2530 Ma)*
-  Gabros, peridotitas y serpentinitas ofiolíticas del dominio de Layuad (Meso-Neoarcaico?)  
*Gabbros, peridotites and serpentinites of the Layuad domain (Meso-Neoarchean?)*
-  Anfibolitas del dominio de Layuad (Meso-Neoarcaico?)  
*Amphibolites of the Layuad domain (Meso-Neoarchean?)*
-  Paragneises migmatíticos, esquistos, mármoles, BIF del dominio de Layuad (Meso-Neoarcaico?)  
*Migmatitic paragneises, schists, marbles, BIF of the Layuad domain (Meso-Neoarchean?)*
-  Ortogneises del dominio de Layuad del Meso-Neoarcaico (?)  
*Orthogneises of the Layuad domain (Meso-Neoarchean?)*
-  Peridotitas del dominio de Miyec (Meso-Neoarcaico ?)  
*Peridotites of the Miyec domain (Meso-Neoarchean?)*
-  Gabros y anortositas del dominio de Miyec (Meso-Neoarcaico?)  
*Anorthosite-gabbro complexes of the Myec domain (Meso-Neoarchean?)*
-  Ortogneises del dominio de Miyec (Meso-Neoarcaico?)  
*Orthogneises (Meso-Meoarchean?)*
-  Ortogneises y migmatitas del dominio de Tasiast-Tijirit-Auserd (Mesoarcaico?)  
*Orthogneises and migmatites (Meso-Archean?) Tasiast-Tijirit-Auserd domain*

Figura 4.2.2. Mapa geológico del área central del desierto de Tiris (en el dominio de Layuad), basado en fotogeología y datos de campo.

Figure 4.2.2. Geological map of the area SW of the Tiris desert (into the Layuad domain), based on fotogeology and field trip data.

El dominio de Layuad queda separado de otros dominios por contactos tectónicos, a partir de grandes fallas orientadas aproximadamente NW-SE, que lo separan al SW del dominio de Tasiast-Tijirit-Auserd, y al NE del dominio de Miyec. Estas fallas pueden interpretarse como cabalgamientos o zonas de cizalla regionalmente importantes, aunque bastante verticalizados. Estas fallas parecen estar asociadas a otros sistemas de fallas que pueden interpretarse como zonas de cizalla, y muchas de ellas se prolongan en el interior de la unidad de Miyec. Por otra parte, hacia el NE todos estos materiales quedan cubiertos discordantemente por las secuencias marinas del Paleozoico, que se disponen sobre los materiales anteriores con un buzamiento muy suave. Finalmente, estos materiales paleozoicos se encuentran cabalgados por materiales mucho más antiguos pertenecientes a los diversos mantos de los Mauritánides (fig. 4.2.2).

Desde el punto de vista litológico, el dominio de Layuad se parece al de Tasiast-Tijirit-Auserd, puesto que en ambos dominios afloran los materiales del basamento del Arcaico del Sáhara, compuesto principalmente por ortogneises eventualmente migmatíticos, intruidos por algunos complejos de granitoides del Paleoproterozoico, rocas alcalinas saturadas o subsaturadas del Paleoproterozoico y diversos complejos de diques de diabasas (fig. 4.2.2).

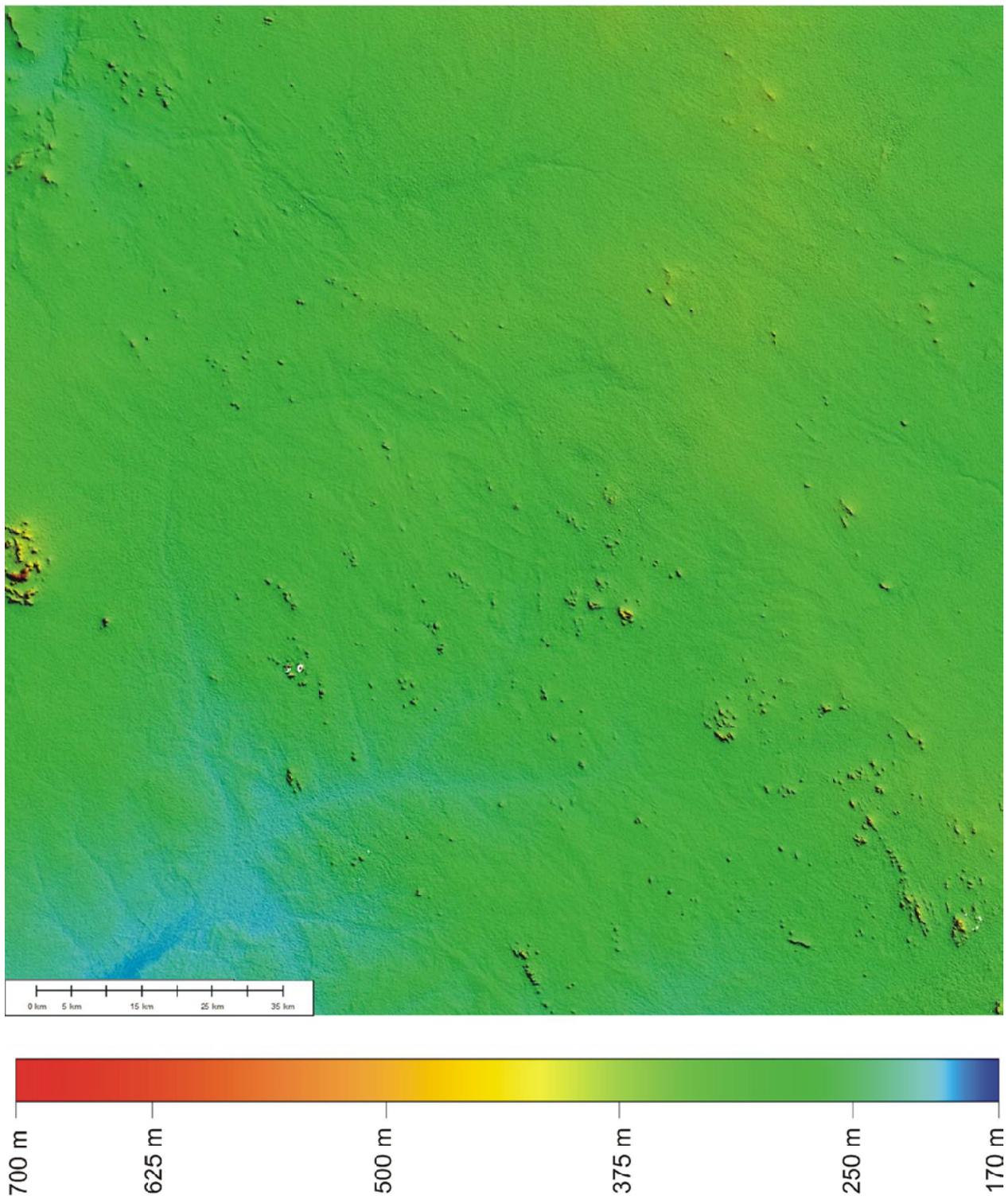
No obstante, la zona de Layuad tiene algunas diferencias litológicas importantes con la anterior (fig. 4.2.2). En primer lugar, cabe destacar en el dominio de Layuad la ausencia de diques de diabasas de dirección NE, los cuales son muy característicos del dominio de Tasiast-Tijirit-Auserd. Efectivamente, los diques de este último dominio parecen estrellarse contra el contacto con la unidad de Layuad. En cambio, en el dominio de Layuad los diques de diabasa son mucho menos abundantes y tienden a estar orientados aproximadamente NW-SE; si bien se reconocen otras familias de diques en la unidad de Layuad, como los que tienen dirección aproximada E-W, éstos tienden a ser todavía menos abundantes y de menor longitud.

Por otra parte, no se han reconocido hasta el momento rocas alcalinas subsaturadas en el dominio de Layuad, si bien se han cartografiado en este dominio rocas sieníticas o granitoides alcalinos sobresaturados con cuarzo y con piroxenos y anfíboles alcalinos (fig. 4.2.2).

Tampoco se han localizado en el dominio de Layuad las asociaciones de rocas de tipo greenstone belt, como las anfíbolitas del sur del Tiris, o los cuerpos ultrabásicos como los del gran dique de Mauritania o de Zug. Tampoco se reconocen cuerpos de BIF, como los que se encuentran abundantemente en la unidad de Miyec.

En cambio, en el dominio de Layuad son muy comunes las intrusiones de tipo charnoquítico, asociadas a facies metamórficas de granulitas; estas facies metamórficas de granulitas no se han reconocido en tan gran escala en los dominios adyacentes. Por consiguiente, el metamorfismo de muy alta temperatura y presión parece ser la característica más distintiva de la unidad de Layuad, puesto que en la unidad de Miyec las facies metamórficas dominantes son las anfíbolitas.

Parte de los afloramientos de la unidad de Layuad se encuentran recubiertos por arenas eólicas, especialmente en la zona del desierto arenoso del Azefal, en el límite SW de la zona, o por sedimentos aluviales o sabkhas. Los cursos fluviales son poco activos, y se encuentran poco encajados en la penillanura (fig. 4.2.3), de modo que los depósitos correspondientes se limitan a pequeñas capas de arcillas y arenas poco consolidadas, sobre las que se asienta una delgada capa de vegetación que puede fijar el sedimento. En las sabkhas hay tenues precipitaciones de yeso selenítico (cristales de orden centimétrico) ocasionalmente acompañados de halita, encajados en arcillas grisáceas; por lo general, el conjunto de estos sedimentos no consolidados puede alcanzar pocos centímetros o decímetros de grosor en los bordes de la cubeta y algunos metros en el depocentro. Los materiales coluviales son poco comunes, pues hay pocos relieves de entidad (fig. 4.2.3).



*Figura 4.2.3. Topografía del área central del desierto de Tiris (en el dominio de Layuad), con la indicación de algunas unidades geográficas. Nótese que la mayor parte del área es plana y que sólo algunas pequeñas colinas y cortas cordilleras de escasa altura como la de Aguainit destacan sobre la penillanura del Tiris. La red fluvial está poco encajada.*

*Figure 4.2.3. Topography of the area SW of the Tiris desert (into the Layuad domain), with the indication of some significant geographical places. Note that most of the area is platy and that only some short ranges as Aguainit and some small hills of scarce height are outstanding over the Tiris plain.*

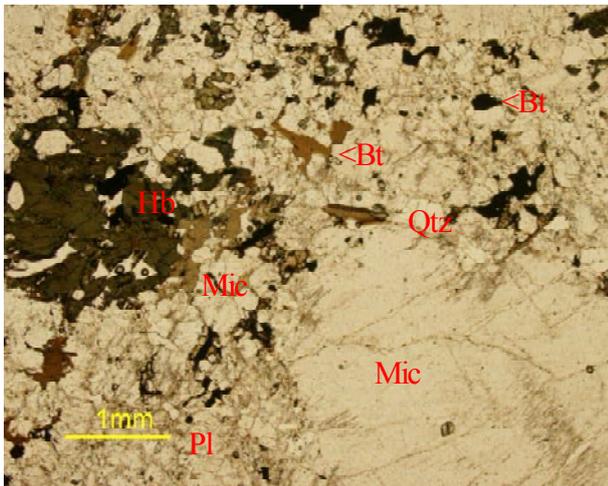


Figura 4.2.4. Ortogneis cuarzomonzónico al SE de Duguesch. Qtz, cuarzo, Bt, biotita, Pl, plagioclasa, Mic, microclina, Hb hornblenda. Muestra csa39. PPL.

Figure 4.2.4. Quartz-monzonitic orthogneis of the SE of Duguesch. Sample csa39. PPL.

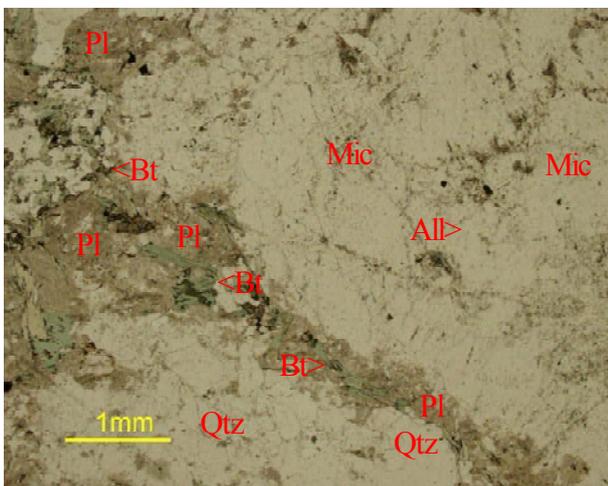


Figura 4.2.6. Ortogneis granodiorítico del SE Quediat Tengazaf. Qtz, cuarzo, Pl, plagioclasa, Mic, microclina, Bt, biotita. Muestra csa41. PPL.

Figure 4.2.6. Granodioritic orthogneis of the SE of Quediat Tengazaf. Sample csa41. PPL.

#### 4.2.2. EL BASAMENTO ARCAICO

Como en el caso de la zona de Tsiast-tijirit-Auserd, en el dominio de Layudad se encuentran rocas del basamento del Arcaico del cratón del Occidente de Africa, de manera que su edad podría abarcar desde el Arcaico inferior al Arcaico Medio. Las rocas que afloran en este dominio son esencialmente gneísicas, de composición variable entre granodiorítica y tonalítica, aunque existen también algunos afloramientos de gneises

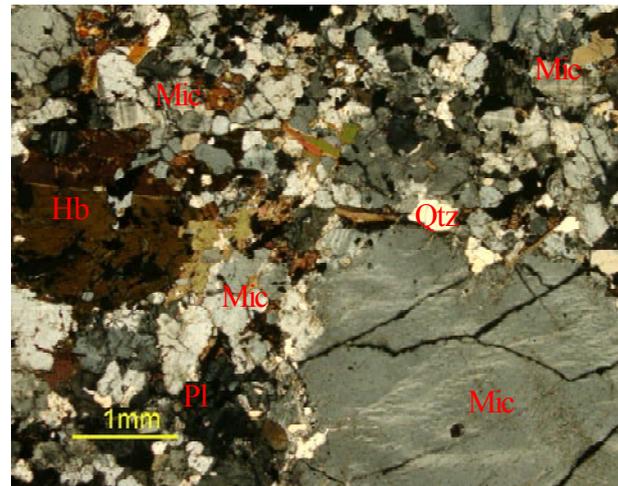


Figura 4.2.5. La imagen anterior, en nicoles cruzados. A remarcar el maclado de la microclina. Figure 4.2.5. The above image, in crossed polars. Note twinning in microcline. Qtz, quartz, Pl, plagioclase, Mic, microcline, Bt, biotite, Hb, hornblende.

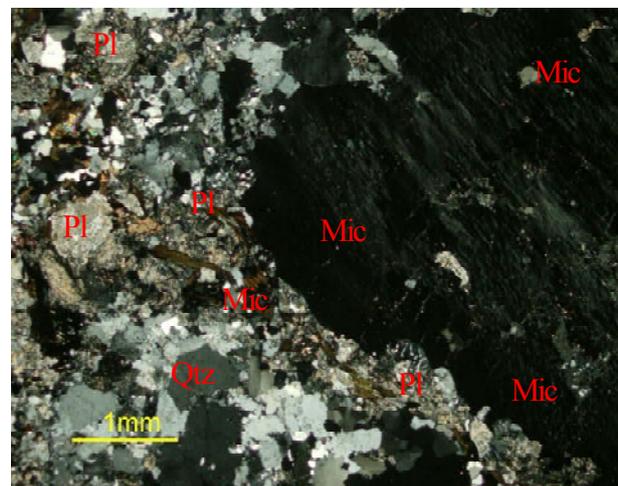


Figura 4.2.7. La imagen anterior, en nicoles cruzados. A remarcar el maclado de la microclina. Figure 4.2.7. The above image, in crossed polars. Note tartan twinning in microcline. Qtz, quartz, Pl, plagioclase, Mic, microcline, Bt, biotite.

graníticos, gneises cuarzomonzónicos, paragneises peraluminicos, anfibolitas y BIF.

##### 4.2.2.1 Ortogneises

La mayor parte de los ortogneises analizados son granodioríticos, con predominio de microclina, cuarzo, plagioclasa y biotita como mineral accesorio principal; en menores cantidades aparece moscovita. Las texturas son muy variables, y se reconoce una foliación

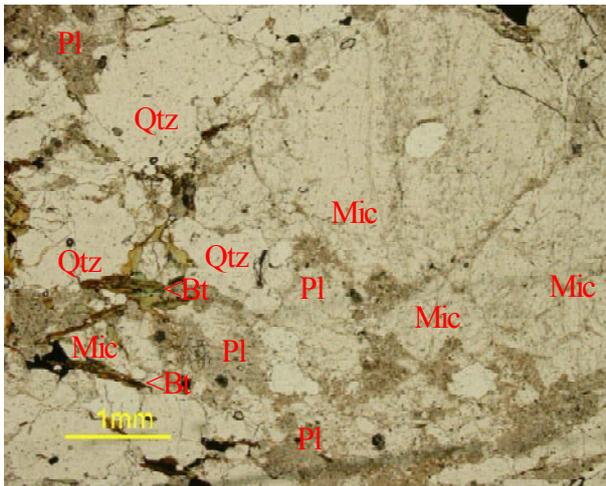


Figura 4.2.8. Ortogneis granodiorítico del SE Quediat Tengazaf. Qtz, cuarzo, Pl, plagioclasa, Mic, microclina, Bt, biotita. Muestra csa40. PPL.  
Figure 4.2.8. Granodioritic orthogneis of the SE of Quediat Tengazaf. Sample csa40. PPL.

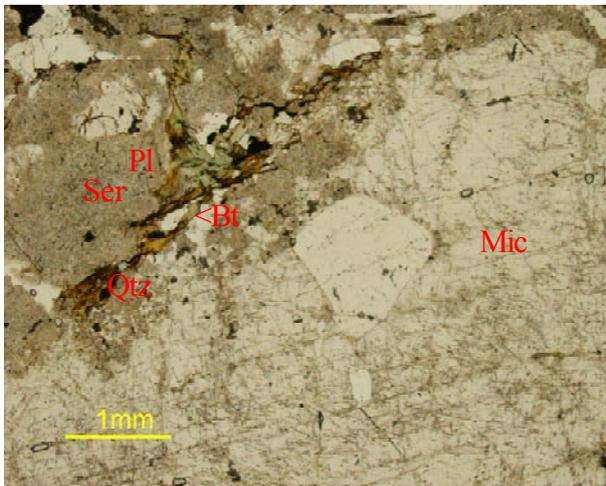


Figura 4.2.10. Ortogneis granodiorítico del SE Quediat Tengazaf. Qtz, cuarzo, Pl, plagioclasa, Mic, microclina, Bt, biotita. Muestra csa40. PPL.  
Figure 4.2.10. Granodioritic orthogneis of the SE of Quediat Tengazaf. Sample csa40. PPL.

gneisica generalmente definida por el elongamiento de los cristales de feldespatos, que definen un bandeado milimétrico. El tamaño de grano es casi siempre granudo y con tendencia a ser milimétrico, pudiéndose reconocer no obstante en algunos casos gneises con texturas oclares, en las que destacan megacrístales de feldespato potásico que alcanzan dimensiones centimétricas (figs. 4.2.4-4.2.11).

El feldespato potásico es microclina, con maclas en parrilla, hipidiomórfica con hábito

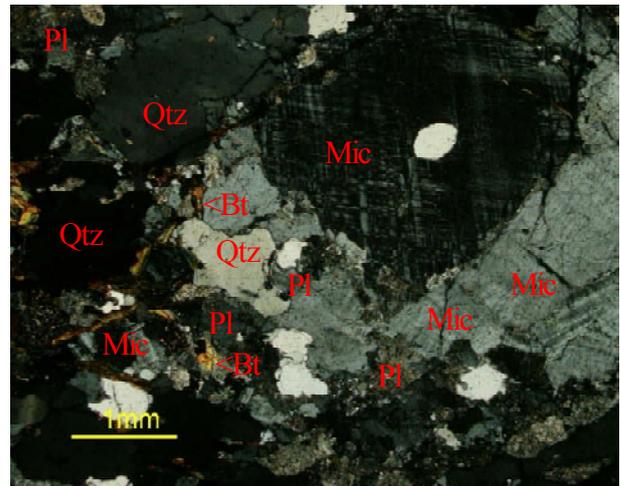


Figura 4.2.9. La imagen anterior, en nicoles cruzados. A remarcar el maclado de la microclina.  
Figure 4.2.9. The above image, in crossed polars. Note tartan twinning in microcline. Qtz, quartz, Pl, plagioclase, Mic, microcline, Bt, biotite.

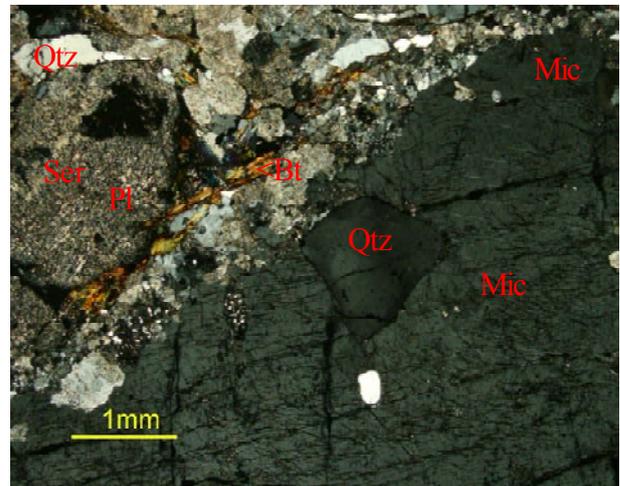


Figura 4.2.11. La imagen anterior, en nicoles cruzados. La plagioclasa está sericitizada.  
Figure 4.2.11. The above image, in crossed polars. Qtz, quartz, Pl, plagioclase, Mic, microcline, Bt, biotite. Plagioclase is sericitized.

prismático corto, con micropertitas casi siempre bien definidas.

La plagioclasa se encuentra casi siempre en cristales algo menores, con maclado polisintético según la ley de la albita y, en ocasiones, de la periclina, y zonados, si bien casi siempre se encuentra muy alterada a sericita.

El cuarzo se encuentra en cristales de tamaño milimétrico, alotriomórficos, de aspecto redondeado. Casi siempre presenta extinción ondulante.

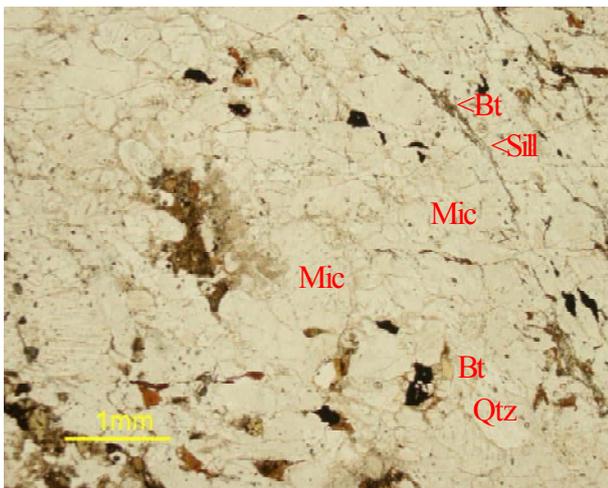


Figura 4.2.12. Ortogneis granítico de Galb Adma. Qtz, cuarzo, Mic, microclina, Bt, biotita; sill, sillimanita. Muestra csa49. PPL.

Figure 4.2.12. Granitic orthogneis of the SE of Duguesch. Sample csa49. PPL.

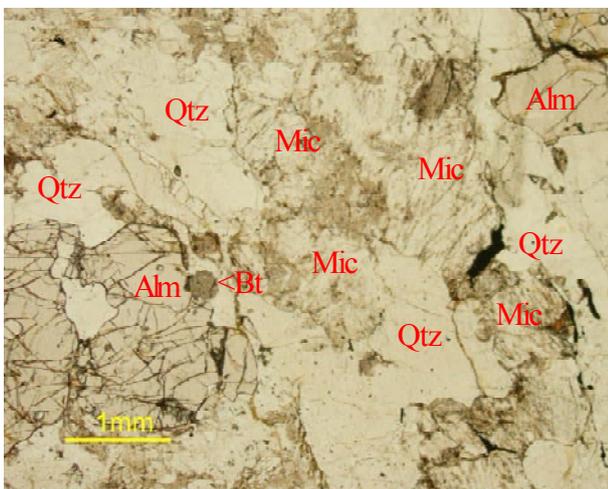


Figura 4.2.14. Ortogneis granítico del SE Quediat Tengazaf. Qtz, cuarzo, Pl, plagioclasa, Mic, microclina, Bt, biotita. Muestra csa49. PPL.

Figure 4.14. Granitic orthogneis of the SE of Quediat Tengazaf. Sample csa41. PPL.

La biotita se encuentra en láminas hipidiomórficas, casis iempre dispuestas según la foliación de la roca. Casi siempre se trata de cristales de tamaño de grano relativamente fino, inferior al milímetro. Por lo común se encuentra alterada a clorita de color verde pálido (fig. 4.2.12, 4.2.13).

Como la biotita, la moscovita se presenta en cristales tabulares hipidiomórficos, dispuestos según la foliación de la roca, casi siempre asociados con biotita en bandas de grosor milimétrico ricas en filosilicatos. Es mucho menos abundante que el anterior

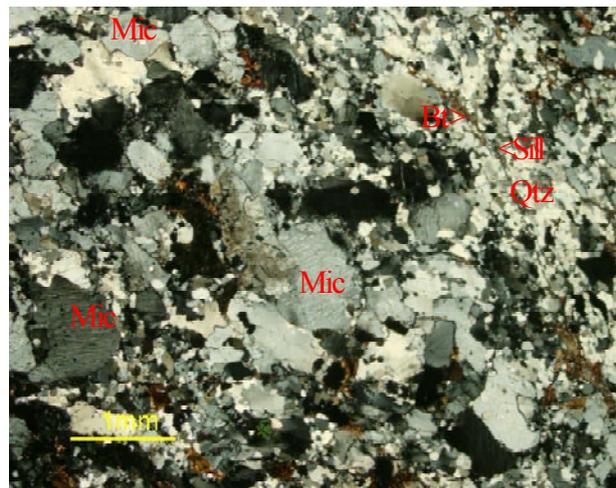


Figura 4.2.13. La imagen anterior, en nicoles cruzados. A remarcar pertitas en la microclina.

Figure 4.2.13. The above image, in crossed polars. Note pertites in microcline. Qtz, quartz, sill, sillimanite, Mic, microcline, Bt, biotite.

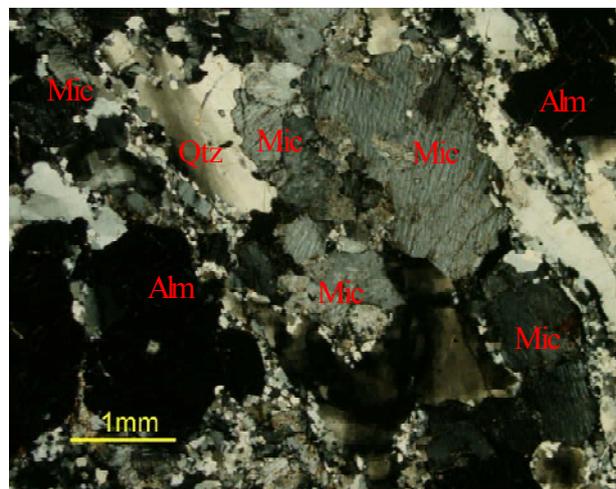


Figura 4.2.15. La imagen anterior, en nicoles cruzados. A remarcar el maclado de la microclina.

Figure 4.2.15. The above image, in crossed polars. Qtz, quartz, Alm, almandine, Mic, microcline, Bt, biotite.

mineral, y no puede descartarse que en muchos casos sea un mineral secundario.

Los minerales del grupo del granate, con composición rica en componente almandino, son comunes en algunas de estas rocas e indicarían un carácter peraluminico de las mismas, aunque no siempre están presentes. Se presentan en cristales hipidiomórficos rojizos, subredondeados, poiquiloblásticos, que a menudo tienen texturas esqueléticas o en atolón. Su tamaño de grano es milimétrico, y raramente representan más del 2% modal de la roca. En muestra de mano son de color

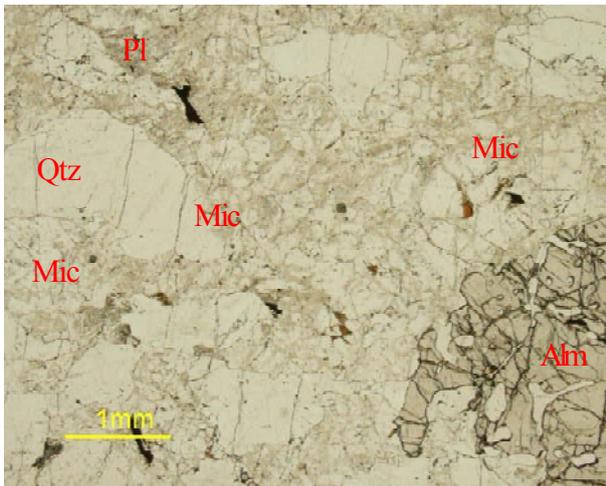


Figura 4.2.16. Ortogneis granodiorítico, NW de Agueinit. Qtz, cuarzo, Pl, plagioclase, Mic, microclina, Alm, almandino. Muestra csa54. PPL.  
Figure 4.2.16. Granodioritic orthogneis of the NW of Agueinit. Sample csa54. PPL.

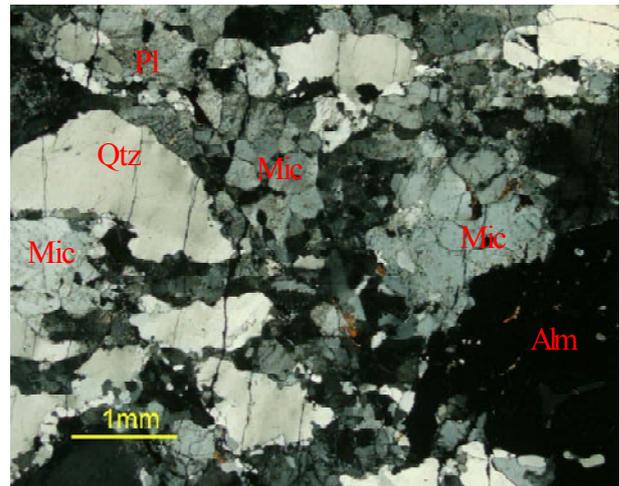


Figura 4.2.17. La imagen anterior, en nicoles cruzados.  
Figure 4.2.17. The above image, in crossed polars. Qtz, quartz, Pl, plagioclase, Mic, microcline, Alm, almandine.

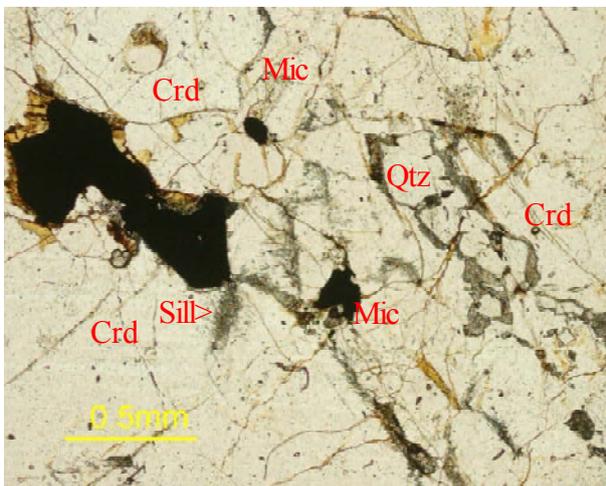


Figura 4.2.18. Paragneis peraluminico (facies granulitas) de Agueinit. Qtz, cuarzo, Bt, biotita, Sill, sillimanita; Crd, cordierita. Muestra csa55. PPL.  
Figure 4.2.18. Peraluminic paragneis (in granulite facies) from Agueinit. Sample csa55. PPL.

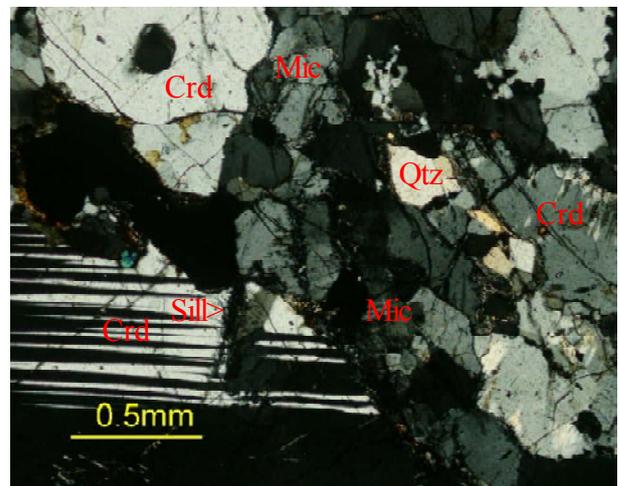


Figura 4.2.19. La imagen anterior, en nicoles cruzados. La cordierita presenta maclado.  
Figure 4.2.19. The above image, crossed polars. Qtz, quartz, Sill, sillimanite, Bt, biotite, Crd, cordierite. Cordierite has polysynthetic twinning.

granate. Acostumbran a presentar inclusiones de microclina o de cuarzo (figs. 4.2.14 a 4.2.17) pero también pueden incluir biotita.

#### 4.22.2. Paragneises peraluminicos en facies granulitas

Algunos gneises tienen un carácter peraluminico, como queda reflejado en los minerales accesorios que presentan. Si bien en algunos casos los ortogneises pueden contener cristales aciculares de sillimanita fibrolítica

(como en Agueinit, fig. 4.2.18-4.2.19), otros minerales peraluminicos pueden llegar a ser muy abundantes en algunas de estas rocas. En particular, la cordierita y la hercinita pueden llegar a ser muy abundantes, a la vez que algunas turmalinas.

La hercinita puede aparecer en forma de cristales alotriomórficos, de tamaño de grano relativamente fino (menos de 500 micras de diámetro), que pueden estar concentrados en bandas de grosor milimétrico. Estos cristales pueden presentar inclusiones de cuarzo y de sillimanita. Son de color negro en muestra de

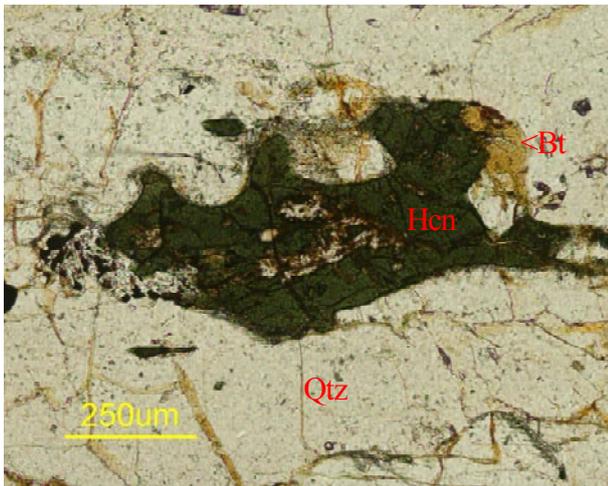


Figura 4.2.20. Paragneis peraluminico (facies granulitas) de Agueinit. Qtz, cuarzo, Hcn, hercinita, Bt, biotita. Muestra csa55. PPL.  
Figure 4.2.20. Peraluminic paragneis (in granulite facies) from Agueinit. Sample csa55. PPL.

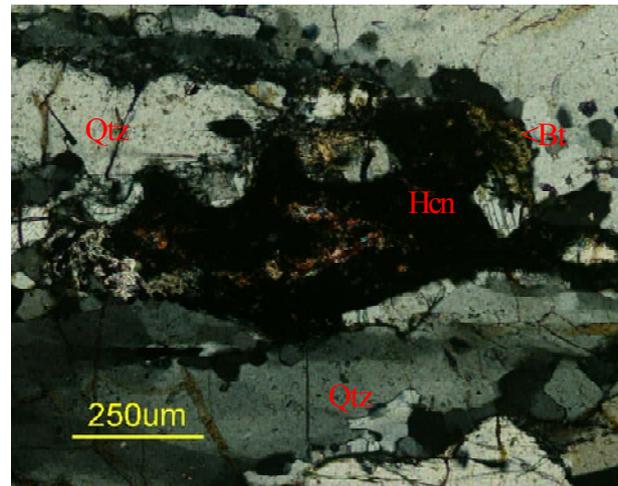


Figura 4.2.21. La imagen anterior, en nicoles cruzados. La hercinita está extinguida  
Figure 4.2.21. The above image, in crossed polars. Hercynite has total extinction.

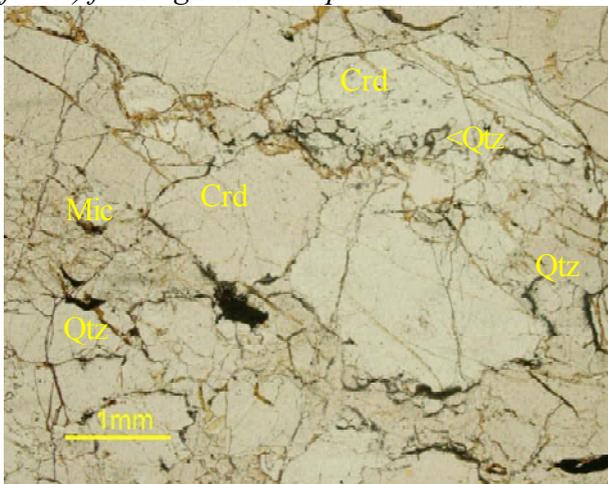


Figura 4.2.22. Paragneis peraluminico (facies granulitas) de Agueinit. Qtz, cuarzo, Crd, cordierite, Bt, biotita. Muestra csa55. PPL.  
Figure 4.2.22. Peraluminic paragneis (in granulite facies) from Agueinit. Sample csa55. PPL.

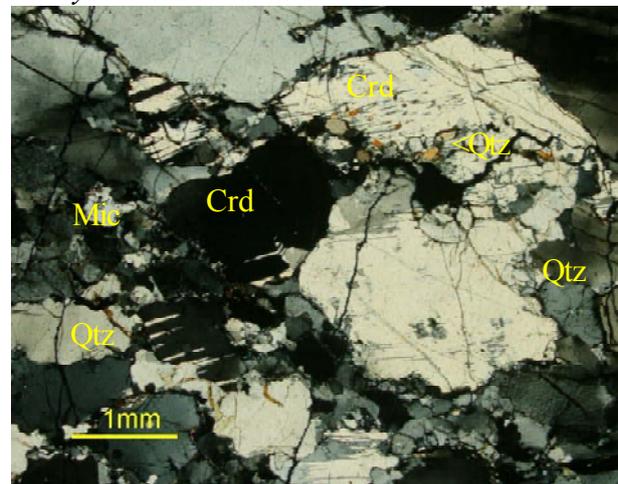


Figura 4.2.23. La imagen anterior, en nicoles cruzados. A remarcar las maclas de la cordierita.  
Figure 4.2.23. The above image, in crossed polars. Cordierite shows polysynthetic twinning.

mano, pero de color verde botella en lámina delgada (fig. 4.2.20, 4.2.21). No se reconoce alteración en estos cristales.

La cordierita es muy común en estas rocas. Se presenta en cristales relativamente grandes, de aspecto redondeado, que pueden alcanzar tamaño centimétrico, de color ligeramente azulado en muestra de mano. Al microscopio estos cristales son inoloros, y en nicoles cruzados presentan maclado polisintético o cíclico (figuras 4.2.22 a 4.2.27). Por lo común, los cristales de cordierita son poiquiloblásticos y están enriquecidos en

inclusiones de cuarzo, sillimanita fibrolítica o columnar (figs. 4.2.24, 4.2.25). Los cristales de cordierita pueden diferenciarse fácilmente de la plagioclasa o de la microclina por su mayor birrefringencia y por presentar aureolas radioactivas amarillas alrededor de inclusiones de zircones metamórficos (figuras 4.2.24, 4.2.25). El maclado puede ser indicativo de su formación precoz como polimorfo más desordenado a alta temperatura.

El resto de componentes se encuentra en proporciones muy variables. El cuarzo es alotriomórfico y se encuentra en granos

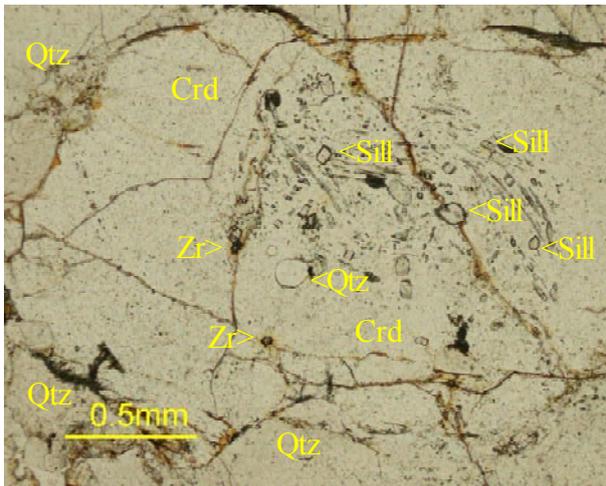


Figura 4.2.24. Paragneis peraluminico (facies granulitas) de Ageininit. Qtz, cuarzo, Zr, zircón, Sill, sillimanita, Crd, cordierita. Muestra csa55. PPL.  
Figure 4.2.24. Peraluminic paragneis (in granulite facies) from Ageininit. Sample csa55. PPL.

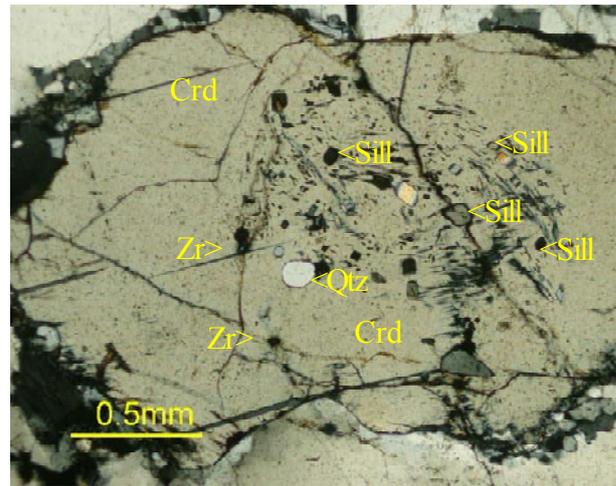


Figura 4.2.25. La imagen anterior, en nicoles cruzados. Véase el maclado de la cordierita.  
Figure 4.2.25. The above image, in crossed polars. Qtz, quartz, Crd, cordierite, Sill, sillimanite, Zr, zircon. Note polysynthetic twinning in cordierite.

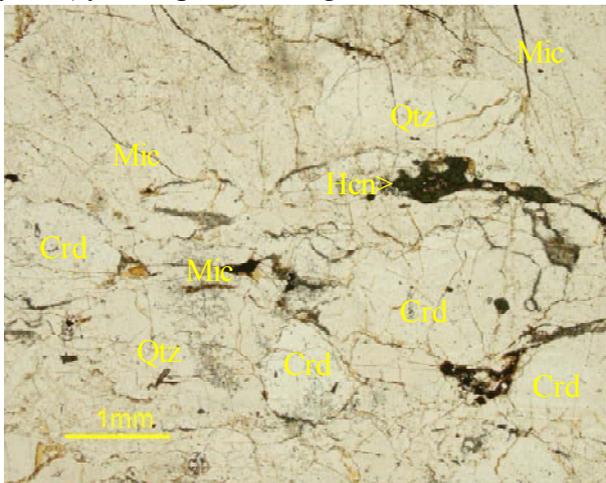


Figura 4.2.26. Paragneis peraluminico (facies granulitas) de Ageininit. Qtz, cuarzo, Zr, zircón, Sill, sillimanita, Crd, cordierita. Muestra csa55. PPL.  
Figure 4.2.26. Peraluminic paragneis (in granulite facies) from Ageininit. Sample csa55. PPL.

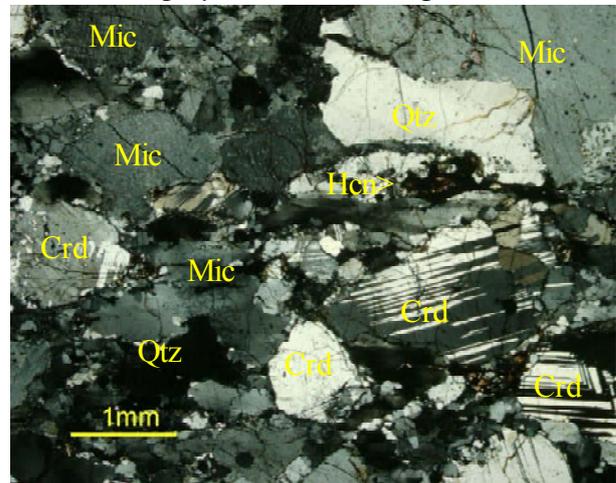


Figura 4.2.27. La imagen anterior, en nicoles cruzados. Véase el maclado de la cordierita.  
Figure 4.2.27. The above image, in crossed polars. Qtz, quartz, Crd, cordierite, Sill, sillimanite, Zr, zircon. Note polysynthetic twinning in cordierite.

alotriomórficos de tamaño asimismo muy variable; en algunos casos parece haber sufrido deformación milonítica, en otros se presenta como cristales mayores con extinción ondulante.

La microclina es alotriomórfica, con tamaño de grano milimétrico, y no acostumbra a presentar micropertitas. No siempre se aprecia el maclado en parrilla característico de este mineral.

La biotita es muy poco común en estas rocas, pero puede reconocerse en forma de escasos cristales de tamaño inferior a 500

micras, de hábito tabular, y con pleocrosimo marrón pálido, indicando proporciones bajas de Fe en su estructura. No se han apreciado retrogradaciones a clorita.

Puede haber, además, pequeñas cantidades de plagioclasa alotriomórfica, así como de zircón, éste casi siempre aparece como inclusiones en otros minerales. Además, se reconocen pequeñas cantidades de fluorapatito. Finalmente, hay minerales opacos, aunque casi siempre se trata de magnetita alotriomórfica en cristales inframilimétricos.

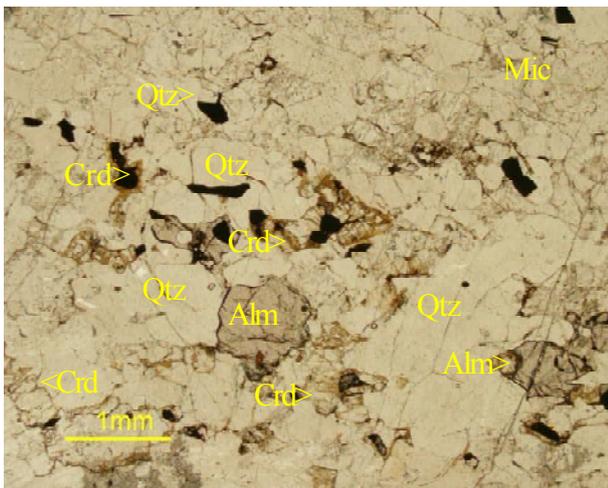


Figura 4.2.28. Paragneis peraluminico (facies granulitas) de Dejen. Qtz, cuarzo, Mic, microclina, Alm, almandino, Crd, cordierita. Muestra csa47. PPL.

Figure 4.2.28. Peraluminic paragneis (in granulite facies) from Dejen. Sample csa47. PPL.

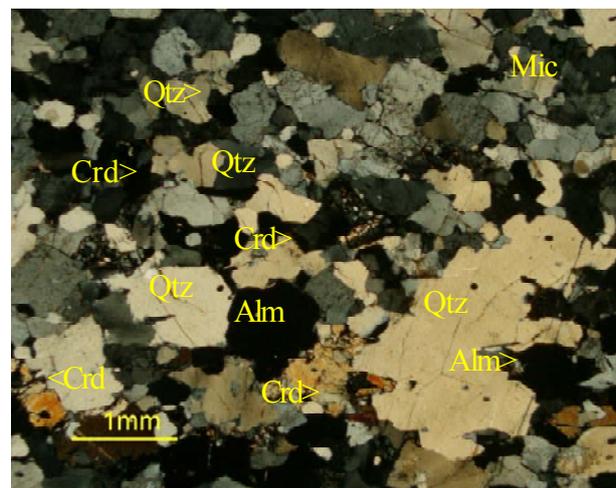


Figura 4.2.29. La imagen anterior, en nicoles cruzados. La cordierita está ligeramente pinitizada.

Figure 4.2.29. The above image, in crossed polars. Qtz, quartz, Crd, cordierite, Alm, almandine, Mic, microcline. Cordierite is slightly pinitized.

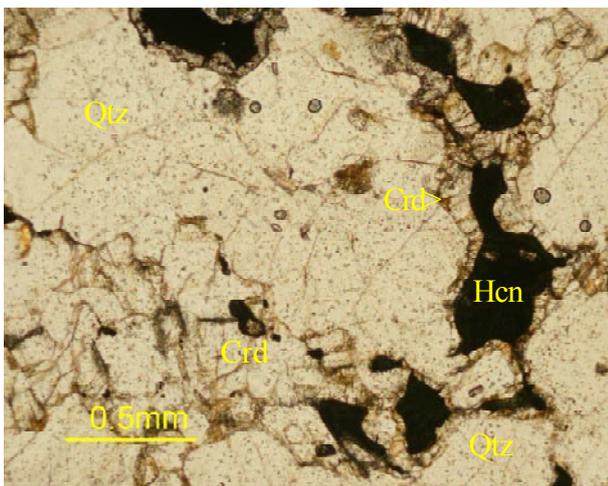


Figura 4.2.30. Paragneis peraluminico (facies granulitas) de Dejen. Qtz, cuarzo, Hcn, hercinita, Crd, cordierita. Muestra csa47. PPL.

Figure 4.2.30. Peraluminic paragneis (in granulite facies) from Dejen. Sample csa47. PPL.

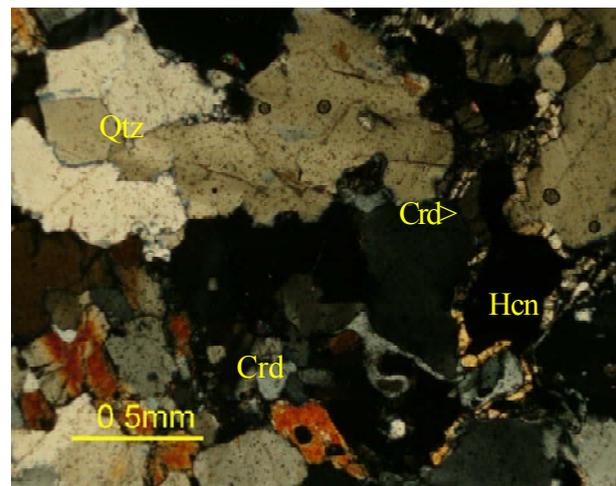


Figura 4.2.31. La imagen anterior, en nicoles cruzados. La hercinita tiene coronas de cordierita.

Figure 4.2.31. The above image, in crossed polars. Qtz, quartz, Crd, cordierite, Hcn, hercynite. Hercynite has cordierite coronas.

En los paragneises del SW de la zona estudiada, hacia los afloramientos de Dejen y de Izablan, se reconocen variedades mineralógica y texturalmente diferentes. En estos paragneises el granate rico en componente almandino acostumbra a estar presente e incluso llega a ser abundante, apareciendo en forma de cristales de tamaño inframilimétrico, hipidiomórficos, de

aspecto redondeado (fig. 4.2.28, 4.2.29). Se asocia asimismo con microclina + cuarzo + sillimanita + cordierita y eventualmente con hercinita.

Las relaciones paragenéticas dejan entrever que la cordierita puede haberse formado como uno de los minerales metamórficos más tardíos, en tanto que se encuentra en forma de cristales

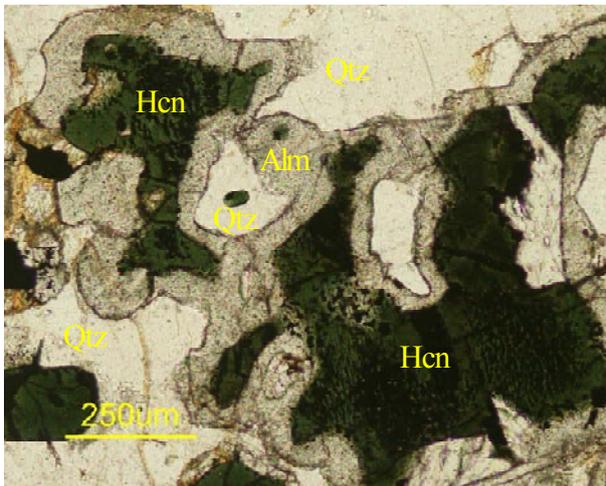


Figura 4.2.32. Paragneis peraluminico (facies granulitas) de Izablan. Qtz, cuarzo, Alm, almandino, Hcn, hercinita. Muestra csa43. PPL.

Figure 4.2.32. Peraluminic paragneis (in granulite facies) from Izablan. Sample csa43. PPL.

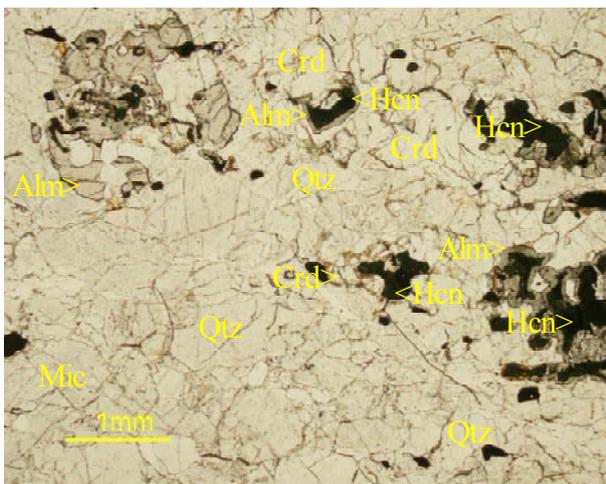


Figura 4.2.34. Paragneis peraluminico (facies granulitas) de Izablan. Qtz, cuarzo, Mic, microclina, Alm, almandino, Crd, cordierita. Muestra csa43. PPL.

Figure 4.2.34. Peraluminic paragneis (in granulite facies) from Izablan. Sample csa43.

poiquiloblásticos que contienen inclusiones de sillimanita; además, la hercinita (que presenta pequeñas inclusiones de cristales alotriomórficos de magnetita) puede presentar en sus bordes coronas de cordierita, de unos pocos cientos de micras de anchura (fig. 4.2.30, 4.2.31). La cordierita acostumbra a encontrarse completamente fresca, pero se han observado en algunas ocasiones ligeras

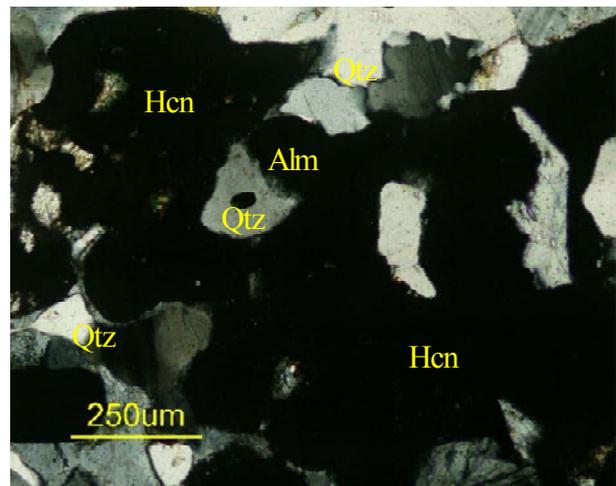


Figura 4.2.33. La imagen anterior, en nicoles cruzados. El almandino forma coronas alrededor de espinela hercinitica con magnetita.

Figure 4.2.33. The above image, in crossed polars. Qtz, quartz, Hcn, hercynite, Alm, almandine. Almandine forms coronas on hercynite with magnetite.

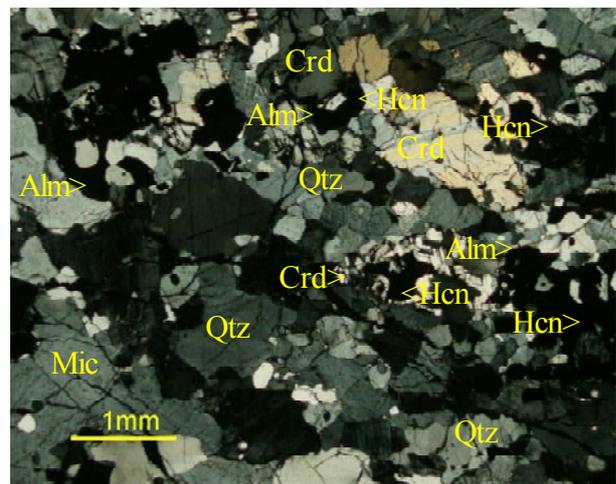


Figura 4.2.35. La imagen anterior, en nicoles cruzados. La hercinita tiene coronas de cordierita y de almandino.

Figure 4.2.35. The above image, in crossed polars. Qtz, quartz, Crd, cordierite, Alm, almandine, Mic, microcline, Hcn, hercynite.

pinitizaciones en los bordes de grano (fig. 4.2.28, 4.2.29).

No obstante, las coronas que envuelven a la hercinita pueden asimismo corresponder en algunos casos a granate almandino (fig. 4.2.32, 4.2.33), si bien en algunos afloramientos puede darse el caso de que aparezcan coronas de ambos minerales (fig. 4.2.34, 4.2.35).

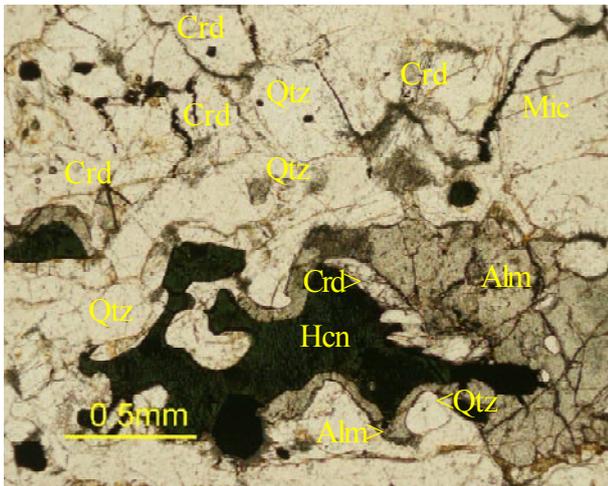


Figura 4.2.36. Paragneis peraluminico (facies granulitas) de Izablan. Qtz, cuarzo, Mic, microclina, Alm, almandino, Crd, cordierita. Muestra csa43. PPL.

Figure 4.2.36. Peraluminic paragneis (in granulite facies) from Izablan. Sample csa43. PPL.

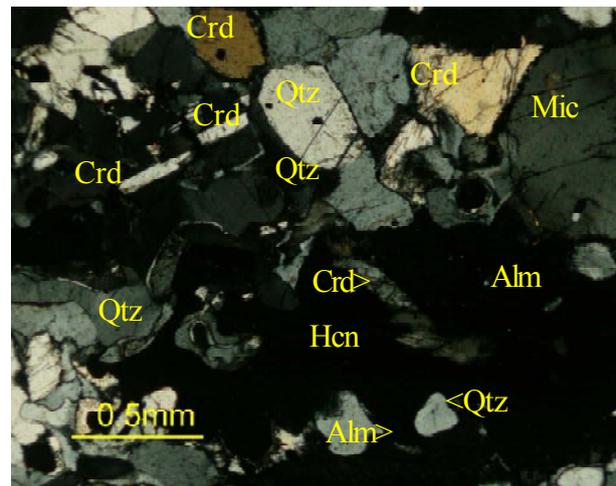


Figura 4.2.37. La imagen anterior, en nicoles cruzados. La cordierita está ligeramente pinitizada.

Figure 4.2.37. The above image, in crossed polars. Qtz, quartz, Crd, cordierite, Alm, almandine, Mic, microcline. Cordierite is slightly pinitized.

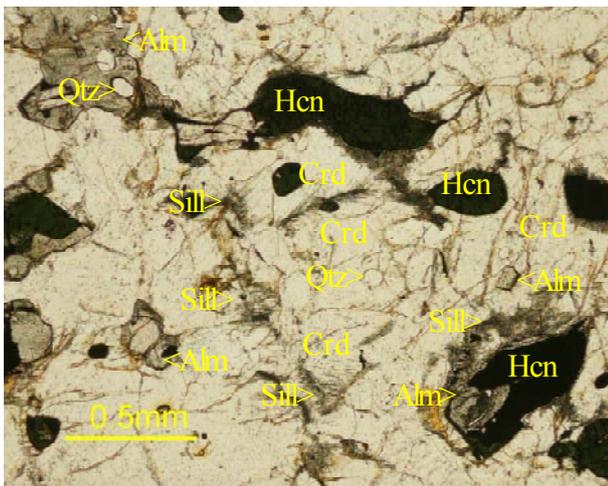


Figura 4.2.38. Paragneis peraluminico (facies granulitas). Qtz, cuarzo, Hcn, hercinita, Crd, cordierita, Sill, sillimanita. PPL.

Figure 4.2.38. Peraluminic paragneis (in granulite facies). Qtz, quartz, Crd, cordierite, Hcn, hercynite, Sill, sillimanite. PPL.

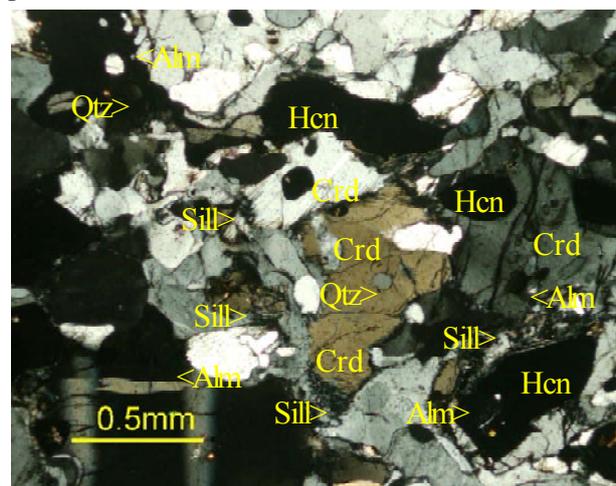


Figura 4.2.39. La imagen anterior, en nicoles cruzados. La hercinita tiene coronas de cordierita. Muestra csa43, Izablan.

Figure 4.2.39. The above image, in crossed polars. Hercynite has cordierite coronas. Sample csa43, Izablan.

En otros casos es la sillimanita fibrolítica el mineral que puede constituir estas coronas, ya sea aislada o en asociación con cristales de cordierita más tardía.

Por consiguiente, la secuencia de cristalización parece ser que se iniciaría con la espinela (en asociación con cuarzo; fig. 4.2.36, 4.2.37), continuaría con la formación de agregados de sillimanita fibrolítica (figs. 4.2.38, 4.2.39) y se completaría con la cristalización

de las coronas de cordierita y de almandino, posiblemente producidas durante el climax metamórfico en facies granulitas por reacción entre los minerales preexistentes:

espinela + SiO<sub>2</sub> --> sillimanita ---> cordierita.

En estas coronas tanto la cordierita como el almandino tienden a ser alotriomórficos, y pueden presentar inclusiones de otros minerales.