



UNIVERSITAT DE  
BARCELONA

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

Saleh Lehib 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.

**CAPITULO 6**

**EL DOMINIO DE  
SFARIAT**

## 6.1. INTRODUCCIÓN

### 6.1.1. ANTECEDENTES

El dominio de Sfariat es una unidad representada principalmente en el Sáhara Occidental, con pequeños retazos en Mauritania (fig. 4.1.1), por lo que es una de las unidades menos estudiadas de todo el cratón.

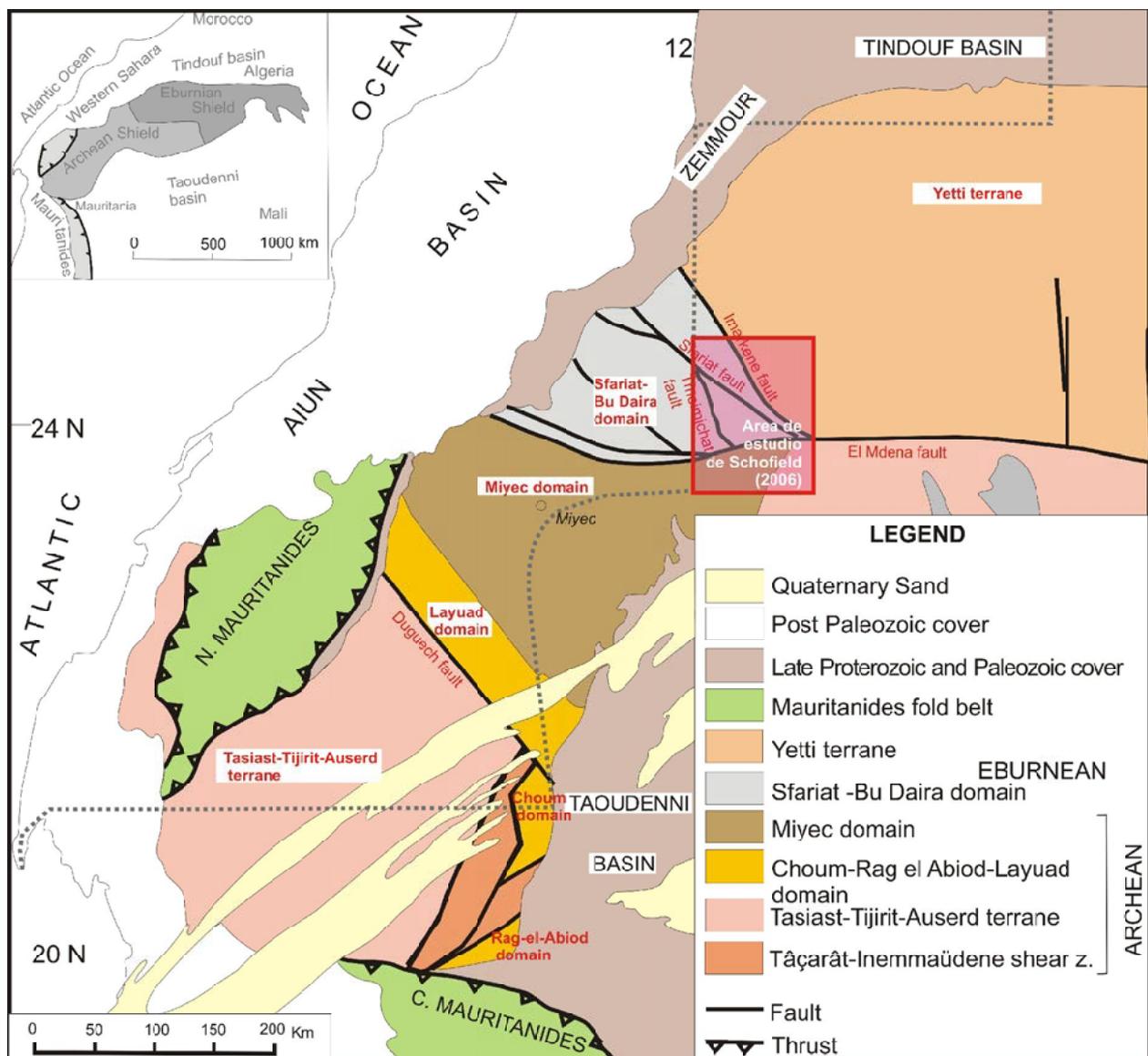


Figura 6.1.1. Situación de las zonas estudiadas por otros autores en zonas vecinas del N de Mauritania.

Figure 6.1.1. Situation of the zones studied by other authors in the neighboring zones of the N zone of Mauretania.



pero estas dataciones no pueden considerarse como totalmente representativas de todos los materiales, como se verá en el apartado de geocronología.

Nuevamente, el estudio de síntesis que presentamos ha sido elaborado con datos propios, obtenidos a partir de las seis campañas de campo realizadas en el área por el autor de la memoria entre los años 2007 y 2014. Excepto la primera, todas estas campañas se han desarrollado en estrecha colaboración con los geólogos de la empresa Hanno Resources, en particular Chris Lyche, que desarrolló su tesis de licenciatura en las mineralizaciones de Au de la zona de Agasrasras Labiad (Lyche, 2014) y con Joshua Combs, que desarrolló su tesis de licenciatura en la parte N de la zona considerada (Combs, 2015) y que desarrolla actualmente su tesis doctoral en esta zona.

La situación de las muestras estudiadas se encuentra en la figura 6.1.2. Como puede apreciarse, el muestreo se ha concentrado en las zonas en que lo permitía la facilidad de accesos. En efecto, hay vastas zonas recubiertas de arena y otras, especialmente hacia la parte oeste, están recubiertas de sabkhas, lo que dificulta el muestreo y el tránsito rodado. Cabe recordar, asimismo, que algunas zonas al NW están cercanas al muro y están minadas.

Una parte de las muestras, no obstante, se ha tomado en la zona comprendida más al sur, dentro del perímetro entre las fallas principales

### 6.1.2. ESTRUCTURA GENERAL DEL ÁREA DE SFARIAT

La zona puede considerarse limitada al NE y al SW por grandes fallas que se pueden seguir con foto satélite durante cientos de kilómetros (fallas de Imarkene, al N, que lo delimita con la unidad de Yetti), y el sistema de fallas de M'dena al sur. Al E se prolonga por Mauritania; al W queda recubierta por los materiales no deformados del Paleozoico inferior, dispuestos subhorizontalmente de forma discordante.



*Fig. 6.1.3. Vista de la penillanura erosiva desarrollada sobre la superficie de discordancia entre el Paleozoico y el Precámbrico (límite NW de la zona de Sfariat-Bu Daira). En primer plano, sobre el BIF de Dueicat, de izquierda a derecha, Bashir, Kinti, Caedmon Marriott, Saleh Lehbib y Joshua Combs. Al fondo, los relieves tabulares generados por las rocas sedimentarias con buzamiento subhorizontal del Paleozoico en la zona de Icherghan.*

*fig. 6.1.2. General view of the erosive plain developed on the unconformity surface between the Paleozoic and the Precambrian (NW limit of the Sfariat-Bu Daira zone). In spotlight, above the BIF outcrop at Dueicat, from left to right: Bashir, Kinti, Caedmon Marriott, Saleh Lehbib and Joshua Combs. On the horizon line, the tabular reliefs generated by the subhorizontal sedimentary rocks of the Paleozoic at the Icherghan zone.*

La mayor parte de la zona aflorante es aproximadamente la paleosuperficie de erosión pre-paleozoica, es decir, una penillanura (fig. 6.1.3). Puesto que las series paleozoicas presentaban un buzamiento muy suave, también la penillanura erosiva tiene una pendiente muy suave. Esta penillanura queda surcada por ríos de curso efímero, en su mayoría rellenos por depósitos aluviales arenosos. Estos cursos siguen una dirección dominante NE-SW, y alimentan sabkhas que pueden llegar a cubrir extensiones muy grandes. En la penillanura destacan algunos relieves de escasa altitud, modelados sobre las rocas del basamento que presentan mayor resistencia a la erosión, como

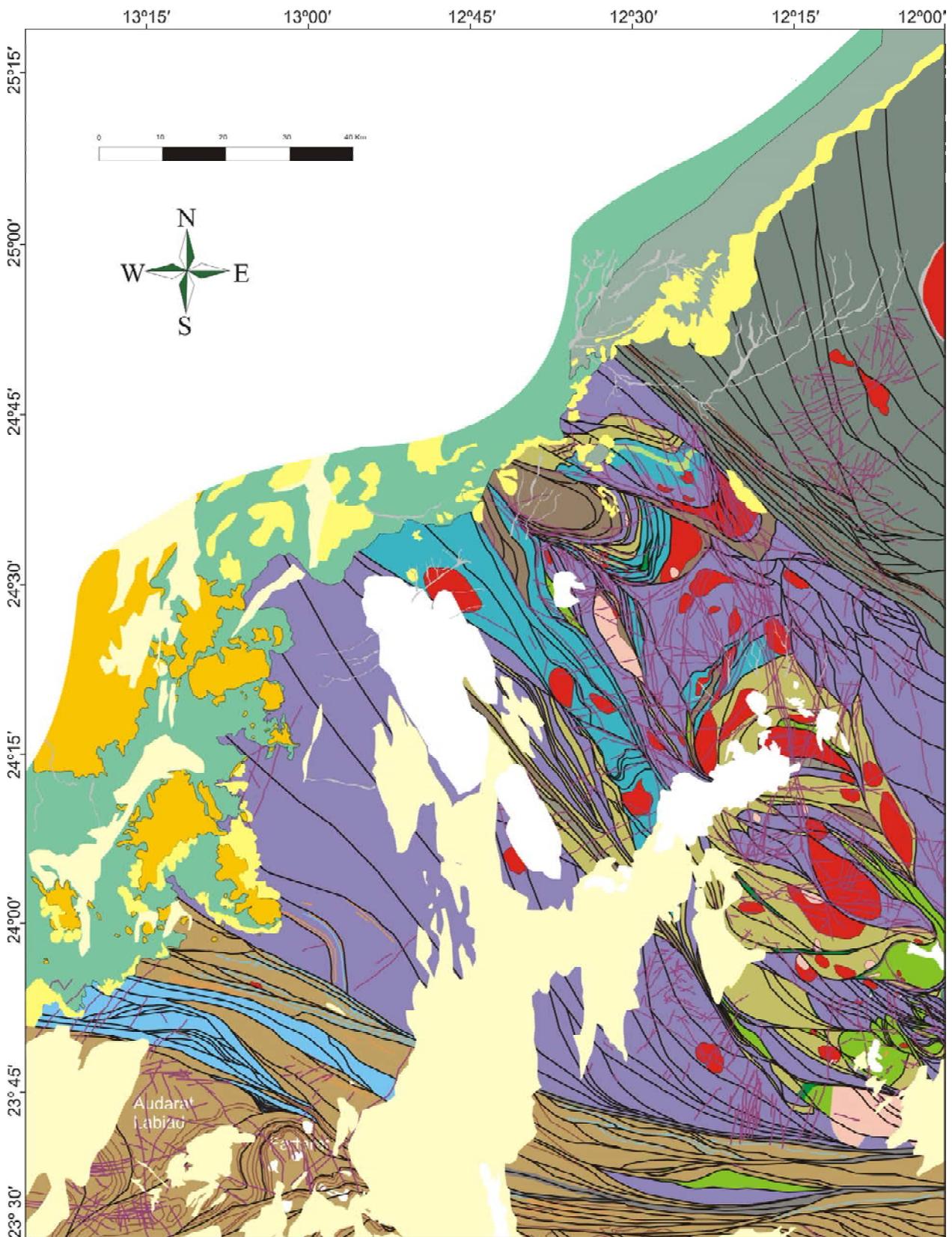


Figura 6.1.4. Mapa geológico de los materiales del Precámbrico de la zona de Sfariat en el Sáhara Occidental. La leyenda geológica se encuentra en la página siguiente.

Figure 6.1.4. Geological map of the Precambrian materials in the Sfariat zone in Western Sahara. The legend of the figure can be found in the next page.

## 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)*
-  Series del Paleógeno  
*Paleogen series*
-  Series del Cretácico  
*Cretaceous series*
-  Series del Paleozoico  
*Paleozoic series*
-  Diques de diabasa del Proterozoico  
*Dolerite dikes (Proterozoic)*
-  Zonas milonitizadas  
*Mylonitized domains*
-  Granitos calcoalcalinos del Proterozoico  
*Calc-alkaline granites (Proterozoic)*
-  Dioritas del Proterozoico  
*Diorites (Proterozoic)*
-  Paleoproterozoico (?): esquistos, cuarcitas, grauvacas, paragneises, chert  
*Schists, quartzite, greywacke, paragneises, chert (Paleoproterozoic?)*
-  Paleoproterozoico(?): niveles potentes de BIF  
*BIF as thick beds (Paleoproterozoic?)*
-  Paleoproterozoico (?): rocas volcánicas bimodales, con boninitas, basaltos y riolitas  
*Volcanic bimodal rocks, with boninites, basalts and rhyolites (Paleoproterozoic ?)*
-  Neoarcaico (?): niveles potentes de mármoles  
*Thick marble beds (Neoarchean?)*
-  Neoarcaico (?): niveles potentes de cuarcitas  
*Thick quartzite beds (Neoarchean?)*
-  Neoarcaico (?): niveles potentes de BIF  
*Thick BIF beds (Neoarchean?)*
-  Neoarcaico (?): series con esquistos, grauvacas, anfíbolitas, cuarcitas, mármoles, BIF  
*Series with BIF, schists, greywackes, amphibolites, quartzites, marbles (Neoarchean?)*
-  Peridotitas del Meso-Neoarcaico (?)  
*Peridotites (Meso-Neoarchean?)*
-  Gabros y anortositas estratificados del Meso-Neoarcaico (?)  
*Stratiform anorthosite-gabbro complexes (Meso-Neoarchean?)*
-  Anfíbolitas del Meso-Neoarcaico (?)  
*Amphibolites (Meso-Neoarchean?)*
-  Ortogneises del Meso-Neoarcaico (?)  
*Orthogneises (Meso-Neoarchean?)*

BIF, cuarcitas o algunos tipos de rocas gabroicas.

Aunque en esta zona faltan dataciones de los materiales, podemos documentar las siguientes unidades en los materiales del Precámbrico:

a) basamento de tipo continental, de edad Meso-Neoarcaico (?), con gneises, anfibolitas y migmatitas, con intrusiones de complejos estratificados de composición principal gabro-anortosítica,; estos materiales están afectados por metamorfismo regional en grado medio (en facies anfibolitas) o en grado alto (incluso, con desarrollo de migmatitas).

b) posible basamento de tipo oceánico, de edad indeterminada pero muy posiblemente del Meso-Neoarcaico (?), con rocas peridotíticas y gabroicas, con metamorfismo regional de grado medio en facies anfibolitas.

c) cobertera sedimentaria y vulcanosedimentaria con magmatismo de tipo de arco volcánico, con metamorfismo en grado muy bajo, de posible edad Paleoproterozoico (?).

d) intrusivos graníticos calcoalcalinos, con metamorfismo en grado muy bajo o inexistente, de edad definida como Paleoproterozoico.

Todos estos materiales se encuentran relacionados entre si por contactos tectónicos, y están fuertemente deformados. El conjunto de la zona se encuentra afectado por cabalgamientos de edad incierta, pero con toda seguridad del Paleoproterozoico, pues quedan cortados por la discordancia del Paleozoico.

e) Varias generaciones de diques de diabasas y rocas subvolcánicas, que pueden aprovechar los cabalgamientos o fallas de desgarre más tardías, que cortan a los cabalgamientos, con dirección NNE-SSW, pero que también son anteriores a la discordancia del Paleozoico inferior.

Sobre este conjunto se disponen diversos depósitos de calcretas, arenas eólicas (dunas depositadas principalmente por vientos con dirección NE-SW), depósitos aluviales y depósitos de sabkha. Los materiales coluviales son escasos, restringidos a las inmediaciones de los relieves más importantes y, sobretudo,

a las proximidades de los relieves de la superficie estructural del Paleozoico.

### 6.1.2.1. Basamento (Meso-Neoarcaico?)

En el basamento destacan importantes afloramientos de ortogneises, así como paquetes de anfibolitas de gran potencia. Posiblemente hay también tramos importantes de metasedimentos, pero estos materiales se encuentran muy cubiertos por arenas y las costras de caliches. La potencia de cada una de estas unidades es difícil de calcular, porque los afloramientos están limitados por una densa red de zonas de cizalla.

Los ortogneises y paragneises presentan textura masiva o bandeada, y en ellos se aprecian cristales mayores de feldespatos potásico, bien orientados. En esta zona no producen relieves importantes.

Los paquetes de anfibolitas pueden tener una potencia en el orden kilométrico, aunque distorsionada por las fallas. Son rocas de coloraciones muy oscuras en el campo, que están muy foliadas (fig. 6.1.5, 6.1.6). No acostumbran a generar resaltes topográficos importantes, y su meteorización favorece que se instalen sabkhas sobre las mismas. Aparecen sobretudo en la zona central, al NW del complejo de Bir Malhat, donde conforman un «Greenstone belt».

Hacia el N de la zona de Sfariat, en la cordillera de Agarzrazraz Lajdar (figs. 6.1.7, 6.1.8) se encuentran importantes afloramientos de cuerpos de rocas ultrabásicas (probablemente, metaperidotitas y metapiroxenitas, con algunas mineralizaciones de espinelas crómicas) metamorizadas en facies anfibolitas, asociadas con cuerpos de gabros y basaltos en los que se aprecian estructuras de tipo pillow, aunque todos ellos están asimismo metamorizados en facies anfibolitas. Este conjunto de rocas básicas y ultrabásicas ocupan la totalidad de los afloramientos de la cordillera. Los contactos entre todas estas rocas y el resto de materiales son tectónicos (fig. 6.1.9), a partir de zonas de cizalla que aparentemente están plegadas (véase figura 6.1.10). Estos materiales podrían



Fig. 6.1.5. Anfibolita. Zona al norte de Bir Malhat.  
Fig. 6.1.5. Amphibolite. Zone north of Bir Malhat.

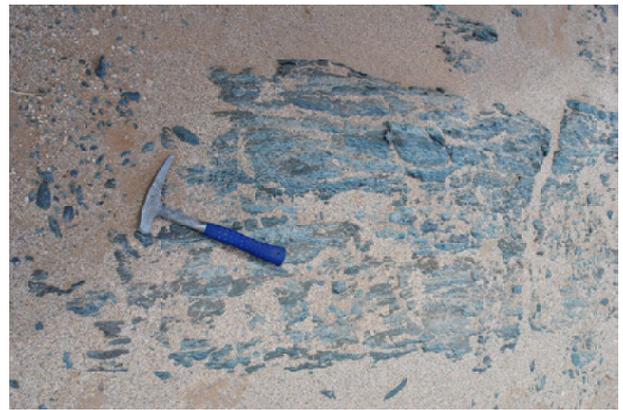


Fig. 6.1.6. Anfibolita. Zona al norte de Bir Malhat.



Fig. 6.1.7. Vista de Agazrazraz Lajdar desde el E.  
Fig. 6.1.7. View of Agazrazraz Lajdar from the E.



Fig. 6.1.8. Detalle de la figura anterior.  
Fig. 6.1.8. Detail of the above image.

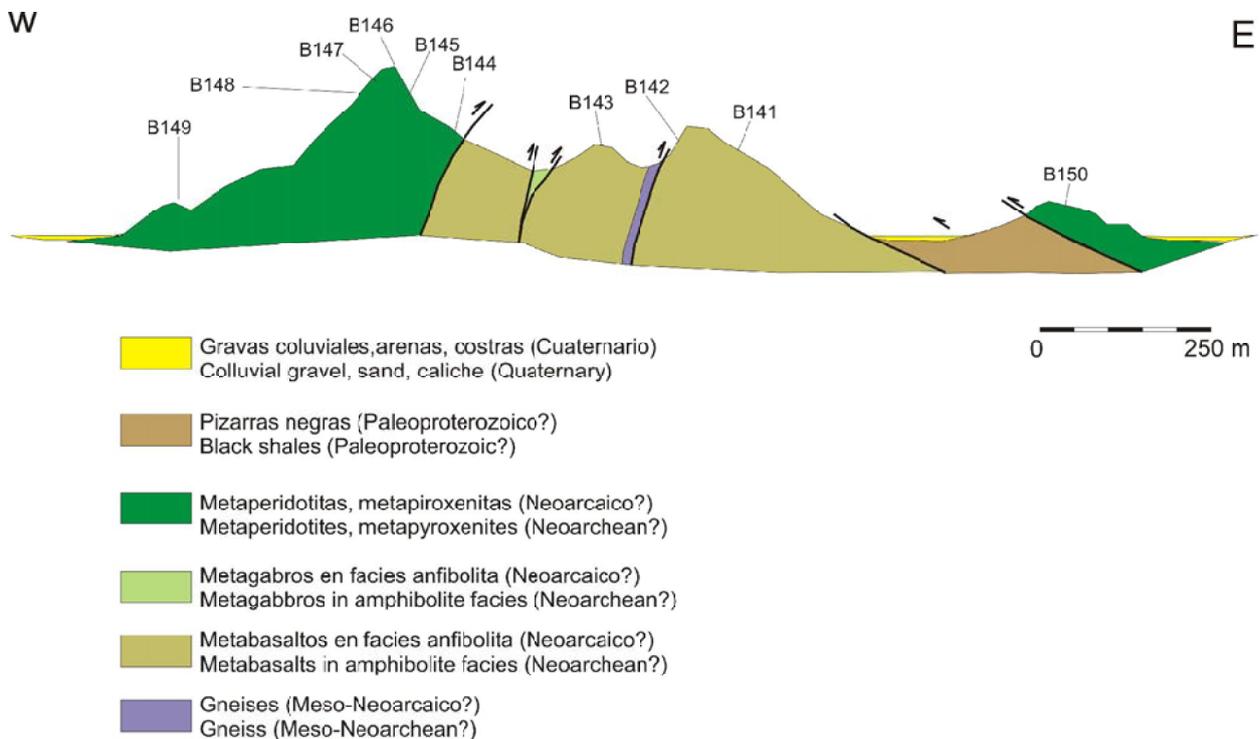


Fig. 6.1.9. Corte geológico de la cordillera de Agazrazraz Lajdar, hacia el extremo N de la zona de Sfariat.

Fig. 6.1.9. Geological profile of the Agazrazraz Lajdar range, at the North extrem of the Sfariat zone.

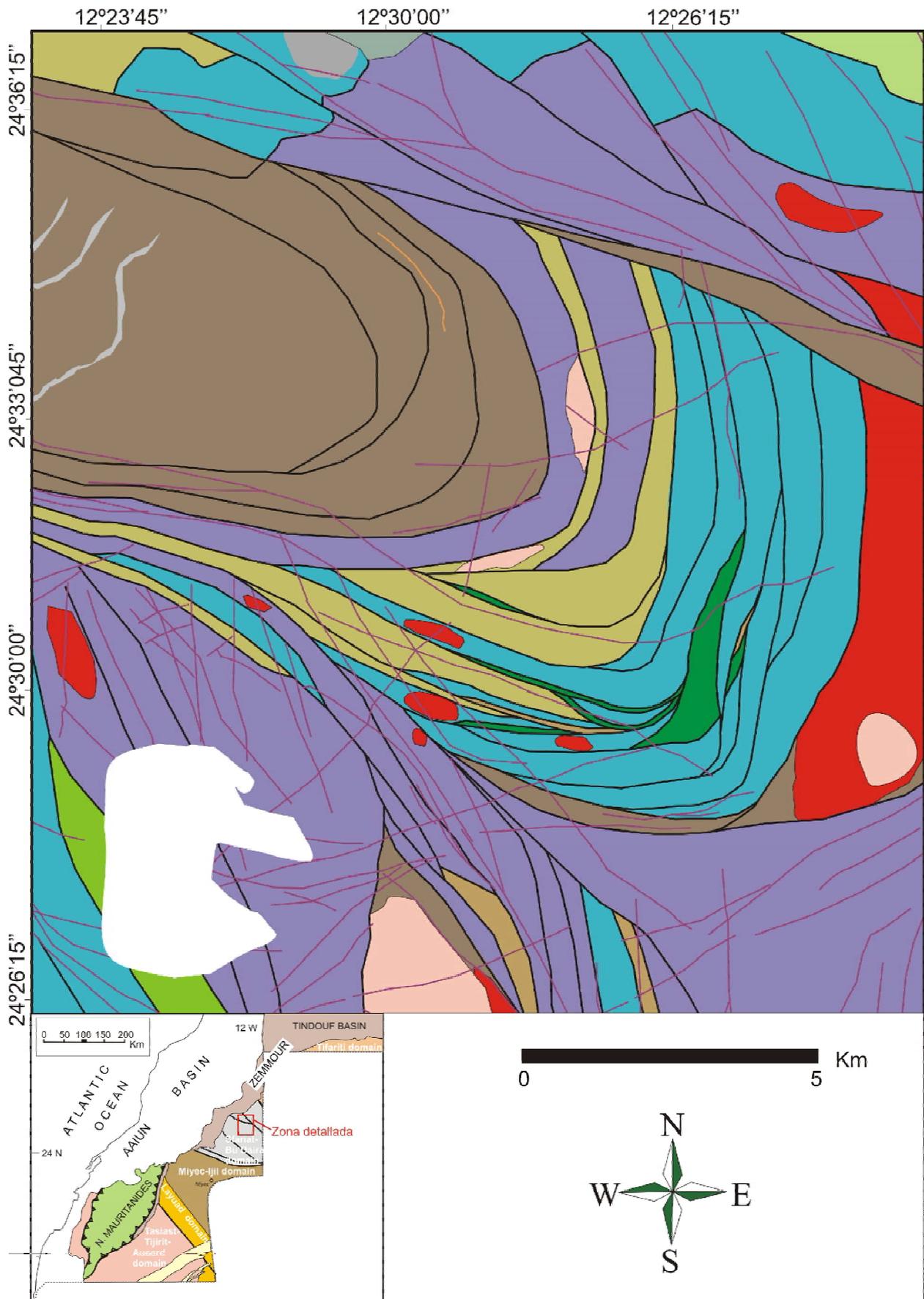


Fig. 6.1.10. Mapa geológico de la zona de la cordillera de Agazrazraz Lajdar, hacia el extremo N del dominio de Sfariat.

Fig. 6.1.10. Geological map of the zone of the Agazrazraz Lajdar range, at the North extrem of the Sfariat domain.

## 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)*
-  Series del Paleógeno  
*Paleogen series*
-  Series del Cretácico  
*Cretaceous series*
-  Series del Paleozoico  
*Paleozoic series*
-  Diques de diabasa del Proterozoico  
*Dolerite dikes (Proterozoic)*
-  Zonas milonitizadas  
*Mylonitized domains*
-  Granitos calcoalcalinos del Proterozoico  
*Calc-alkaline granites (Proterozoic)*
-  Dioritas del Proterozoico  
*Diorites (Proterozoic)*
-  Paleoproterozoico (?): esquistos, cuarcitas, grauwacas, paragneises, chert  
*Schists, quartzite, greywacke, paragneises, chert (Paleoproterozoic?)*
-  Paleoproterozoico(?): niveles potentes de BIF  
*BIF as thick beds (Paleoproterozoic?)*
-  Paleoproterozoico (?): rocas volcánicas bimodales, con boninitas, basaltos y riolitas  
*Volcanic bimodal rocks, with boninites, basalts and rhyolites (Paleoproterozoic ?)*
-  Neoarcaico (?): niveles potentes de mármoles  
*Thick marble beds (Neoarchean?)*
-  Neoarcaico (?): niveles potentes de cuarcitas  
*Thick quartzite beds (Neoarchean?)*
-  Neoarcaico (?): niveles potentes de BIF  
*Thick BIF beds (Neoarchean?)*
-  Neoarcaico (?): series con esquistos, grauwacas, anfíbolitas, cuarcitas, mármoles, BIF  
*Series with BIF, schists, greywackes, amphibolites, quartzites, marbles (Neoarchean?)*
-  Peridotitas del Meso-Neoarcaico (?)  
*Peridotites (Meso-Neoarchean?)*
-  Gabros y anortositas estratificados del Meso-Neoarcaico (?)  
*Stratiform anorthosite-gabbro complexes (Meso-Neoarchean?)*
-  Anfíbolitas del Meso-Neoarcaico (?)  
*Amphibolites (Meso-Neoarchean?)*
-  Ortogneises del Meso-Neoarcaico (?)  
*Orthogneises (Meso-Neoarchean?)*

asemejarse a los comunes en los perfiles de cortezas oceánicas emplazadas tectónicamente en forma de complejos ofiolíticos (p. ej., Proenza y Melgarejo, 1998). No obstante, por el momento no se dispone de datos geoquímicos que ayuden a diferenciar si se trata de un complejo ofiolítico o de un complejo intrusivo.

La otra gran unidad intrusiva diferenciable en el basamento de la zona de Sfariat es el complejo estratiforme gabro-anortosítico de Bir Malhat, cuyos afloramientos (aunque muy compartimentados por la tectónica y por la existencia de intrusivos ácidos posteriores) ocupan grandes extensiones, en el orden de cientos de kilómetros cuadrados, en la zona

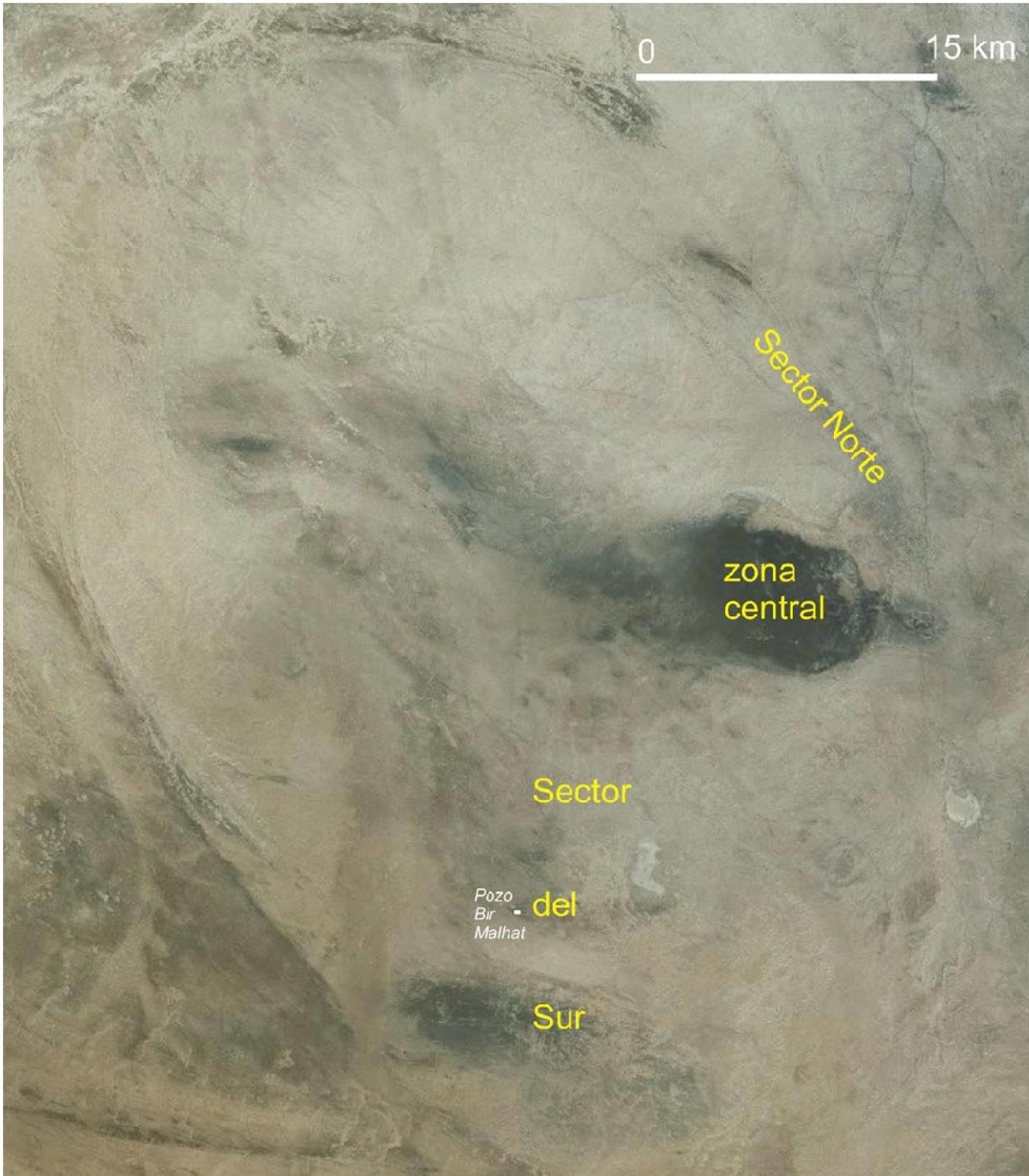


Fig. 6.1.11. Imagen de foto satélite de la zona del complejo estratificado de Bir Malhat, con indicación de los sectores con los principales afloramientos.

Fig. 6.1.11. Photo satellit image of the zone of the Bir Malhat stratiform complex, with indication of the sectors with the main outcrops.

sur de la unidad (fig. 6.1.11). El complejo de Bir Malhat aflora en una zona muy llana, ocupada en buena parte por sabkhas. Los afloramientos se extienden por una zona de unos 50 km en dirección N-S y de hasta 30 en dirección E-W (fig. 6.1.11, 6.1.12).

El complejo de Bir Malhat está muy deformado y compartimentado por las zonas de cizalla (fig. 6.1.12), pero la distribución y forma de los afloramientos sugiere que probablemente tuviera originalmente una forma de lacolito. La composición de las rocas del macizo, además de por la deformación y alteración asociada a las cizallas, se ha visto afectada por un episodio metamórfico en facies anfibolitas, como acontece en el resto de los materiales del basamento. Se puede diferenciar entre los afloramientos del complejo tres sectores (fig. 6.1.11): norte, centro y sur, que pueden representar diferentes niveles del intrusivo.

El sector norte del complejo de Bir Malhat (fig. 6.1.13, 6.1.14) comprende una serie de afloramientos con elongación NW-SE, delimitados por zonas de cizalla asimismo NW-SE, y que están aparentemente encajados en gneises y anfibolitas. Tiene una longitud de unos 20 km y una anchura muy variable, entre 1,5 y 2 km. Está constituido esencialmente por gabros con diferentes facies (leucogabros, microgabros, gabros pegmatíticos, gabros s.s.) y anortositas, con menores proporciones de metapiroxenitas, así como mineralizaciones de cromita estratiforme. El conjunto de los materiales del sector norte está claramente bandeado, y algunos de los niveles se pueden seguir a lo largo de muchos kilómetros. Se encuentran alternancias de bandas de los diferentes tipos de materiales. El bandeo es de origen ígneo y tiene un fuerte buzamiento hacia el NE, lo que ha facilitado el trazado de algunas columnas estratigráficas parciales para intentar reconstruir la estratigrafía del complejo (fig. 6.1.13, 6.1.14). Cabe señalar, no obstante, que por el momento no se dispone de criterios de polaridad, por lo que no queda claro dónde se encuentran la base y el techo de estas series parciales, y más teniendo en cuenta la fuerte tectonización del área. Estos materiales se ven intruidos por cuerpos plutónicos de reducidas dimensiones (stocks) de leucogranitos y

granitos, además de por diques, principalmente de diabasas tholeiíticas pero también de rocas de composición boninitica, todos ellos de direcciones muy variables, pero que en algunos casos parecen aprovechar las zonas de cizalla preexistentes para emplazarse (fig. 6.1.12). Se reconocen, además, filones de cuarzo de dirección también muy variable pero de dimensiones más reducidas y no cartografiables a la escala en que presentamos los mapas; a veces, en asociación con estas vetas de cuarzo, se aprecian alteraciones epidóticas de las rocas de caja.

La forma de los afloramientos del sector central del complejo de Bir Malhat es aproximadamente circular, debido a que el buzamiento del bandeo ígneo en este sector es más suave que en el ala norte. Este núcleo circular tiene un diámetro de unos 6 km, pero presenta extensiones hacia el W. Como en el caso anterior, el complejo está encajado en ortogneises y anfibolitas, pero el contacto parece ser siempre tectónico o al menos estar tectonizado y fuertemente plegado. En la zona circular se reconocen básicamente capas potentes de gabros, troctolitas y anortositas, a menudo formando alternancias (fig. 6.1.13, 6.1.14), pero en él no se han localizado por el momento niveles de cromita. Además, sobre todo en los límites, se reconocen paquetes de rocas ultrabásicas, en la mayor parte de los casos, peridotitas reemplazadas por listwánitas. Estas listwánitas se encuentran muy a menudo en lentejones arrancados al complejo por las cizallas y situados a varios kilómetros de distancia del mismo; de hecho, muchas cizallas parecen haber usado estas rocas como niveles de despegue, probablemente aprovechando la presencia de abundantes cantidades de serpentinas en los mismos. El conjunto está cortado por granitoides y diabasas.

El sector sur del complejo de Bir Malhat engloba afloramientos muy compartimentados y dispersos por las zonas de cizalla. En esta zona, a semejanza de las anteriores, se reconocen gabros y anortositas y algunas metapiroxenitas, pero además de niveles de cromita se encuentran niveles de óxidos de Fe y Ti. El conjunto está cortado por granitoides y diabasas.

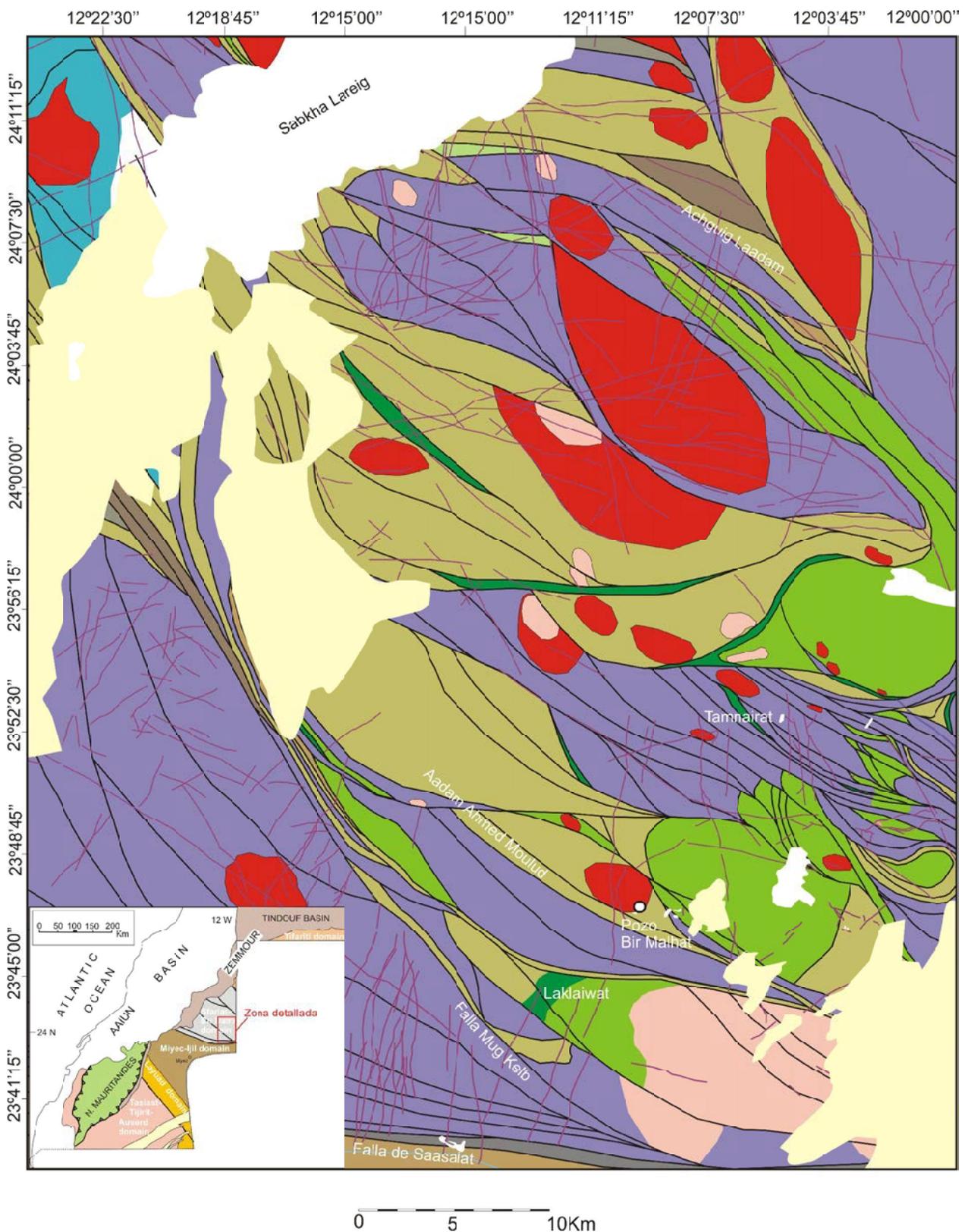


Fig. 6.1.12. Mapa geológica de detalle, con indicación de algunos puntos geográficos remarcables, de la zona del complejo estratificado gabro-anortosítico de Bir Malhat, al S del dominio de Sfariat.

Fig. 6.1.12. Detailed geological map of the zone of the Bir Malhat gabbro-anorthosite stratiform complex, south of the Sfariat domain, with the indication of some noticeable geographical 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)*
-  Series del Paleógeno  
*Paleogen series*
-  Series del Cretácico  
*Cretaceous series*
-  Series del Paleozoico  
*Paleozoic series*
-  Diques de diabasa del Proterozoico  
*Dolerite dikes (Proterozoic)*
-  Zonas milonitizadas  
*Mylonitized domains*
-  Granitos calcoalcalinos del Proterozoico  
*Calc-alkaline granites (Proterozoic)*
-  Dioritas del Proterozoico  
*Diorites (Proterozoic)*
-  Paleoproterozoico (?): esquistos, cuarcitas, grauwacas, paragneises, chert  
*Schists, quartzite, greywacke, paragneises, chert (Paleoproterozoic?)*
-  Paleoproterozoico(?): niveles potentes de BIF  
*BIF as thick beds (Paleoproterozoic?)*
-  Paleoproterozoico (?): rocas volcánicas bimodales, con boninitas, basaltos y riolitas  
*Volcanic bimodal rocks, with boninites, basalts and rhyolites (Paleoproterozoic ?)*
-  Neoarcaico (?): niveles potentes de mármoles  
*Thick marble beds (Neoarchean?)*
-  Neoarcaico (?): niveles potentes de cuarcitas  
*Thick quartzite beds (Neoarchean?)*
-  Neoarcaico (?): niveles potentes de BIF  
*Thick BIF beds (Neoarchean?)*
-  Neoarcaico (?): series con esquistos, grauwacas, anfíbolitas, cuarcitas, mármoles, BIF  
*Series with BIF, schists, greywackes, amphibolites, quartzites, marbles (Neoarchean?)*
-  Peridotitas del Meso-Neoarcaico (?)  
*Peridotites (Meso-Neoarchean?)*
-  Gabros y anortositas estratificados del Meso-Neoarcaico (?)  
*Stratiform anorthosite-gabbro complexes (Meso-Neoarchean?)*
-  Anfíbolitas del Meso-Neoarcaico (?)  
*Amphibolites (Meso-Neoarchean?)*
-  Ortogneises del Meso-Neoarcaico (?)  
*Orthogneises (Meso-Neoarchean?)*

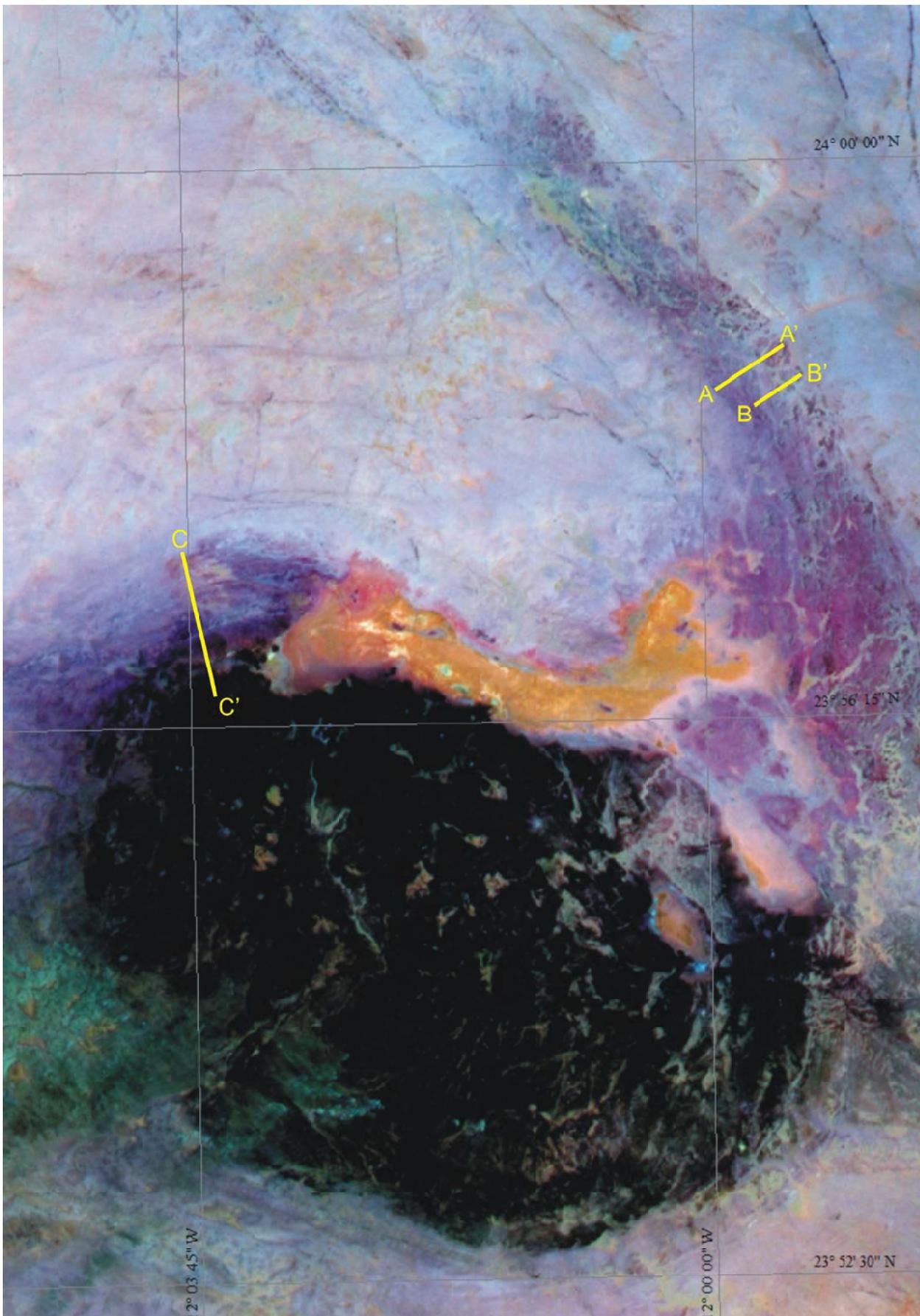


Figura 6.1.13. Situación de los perfiles litológicos del complejo de Bir Malhat en la imagen de satélite Landsat.

Figure 6.1.13. Situation of the lithological profiles of the Bir Malhat complex on the Landsat image.



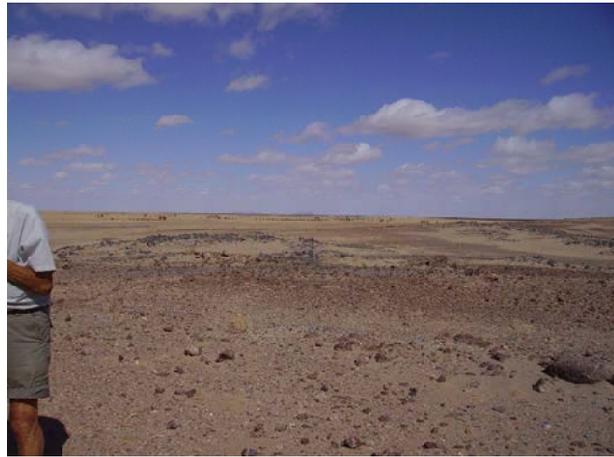
*Listwänitas*

Los materiales más ultrabásicos afloran principalmente en el sector central, hacia el W, pero también en los otros sectores. No obstante, hasta el momento no se han reconocido las facies más ultrabásicas comunes en otros complejos afines (como las dunitas o las peridotitas) al menos como tales, pero sí que alternativamente se han descubierto numerosos afloramientos de listwänitas, que pueden haberse formado por alteración hidrotermal muy intensa de protolitos ultrabásicos a lo largo de zonas de cizalla, como acontece en muchas partes del mundo (Stanger, 1985; Buisson y Leblanc, 1985, 1986; Ash y Arksey, 1990; Aydal, 1990; Auclair et al., 1993; Halls y Zhao, 1995; Uçurum, 2000; Brigatti et al., 2001; Hansen et al., 2005; Robinson et al., 2005; Akbulut et al., 2006; Tsikouras et al., 2006; Nasir et al., 2007).

Las listwänitas forman cuerpos muy tectonizados y fuertemente alterados, con calcitizaciones y silicificaciones que han reemplazado completamente a la mineralogía original, de la misma manera que acontece en otros puntos del Sahara Occidental, como por ejemplo en la zona de Zug. La mayor parte de afloramientos tienen forma lenticular, estando siempre delimitados completamente por cizallas, y pueden estar tanto en los bordes del complejo estratificado como a una cierta distancia del mismo. La anchura de estas lentejones es casi siempre de unas pocas decenas de metros, pero los hay también que alcanzan varios cientos de metros.

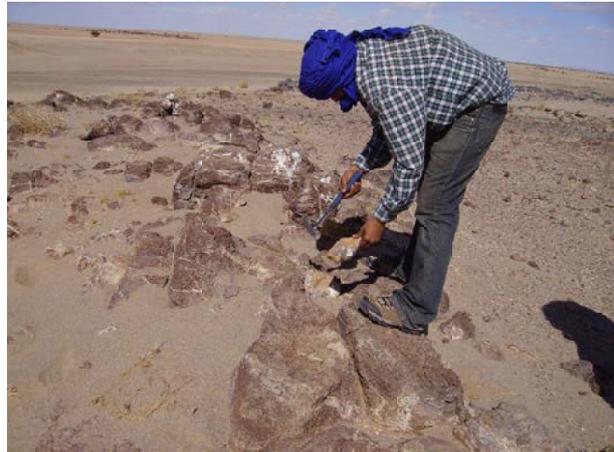
En afloramiento se reconocen por tener un color chocolate o marrón claro («café con leche»); figs 6.1.15 a 6.1.20). Estas rocas no producen relieves importantes en el paisaje, pero a escala local son fácilmente reconocibles por su aspecto alterado, oqueroso y muy ricas en cuarzo. Son rocas

Las listwänitas afloran principalmente en los márgenes del complejo, especialmente en su parte central, pero hay también manifestaciones menores en el interior y en las zonas marginales, siempre en contacto con zonas de cizalla importantes.



*Fig. 6.1.15. Vista general de una franja con listwänitas, destacables por su color pardo. Margen de la zona central del complejo de Bir Malhat.*

*Fig. 6.1.15. General view of a listwänite belt, distinguished by the brownish hue. Margin of the central zone of the Bir Malhat complex.*



*Fig. 6.1.16. Detalle del afloramiento anterior; nótese vetas de cuarzo lechoso en la zona carbonatada parda.*

*Fig. 6.1.16. Detail of the above outcrop; note milky quartz veins in the brownish carbonatized unit.*



*Fig. 6.1.17. Otro detalle de la listwänita anterior.*

*Fig. 6.1.17. Another detail of the above listwänite.*



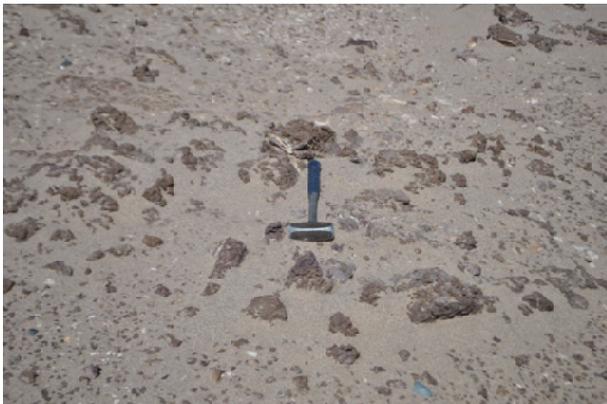
*Fig. 6.1.18. Vista general de una franja con típicas listwänitas, destacables por su color pardo. Tamnairat, margen de la zona sur del complejo de Bir Malhat.*

*Fig. 6.1.18. General view of a typique listwänite belt, distinguished by the brownish hue. Tamnairat, margin of the central zone of the Bir Malhat complex.*



*Fig. 6.1.19. Detalle del afloramiento anterior; nótese que las listwänitas conforman un ligero relieve en relación a la penillanura.*

*Fig. 6.1.19. Detail of the above outcrop; note that the listwänites produce a smooth relief in relation to the peneplain.*



*Fig. 6.1.20. Detalle del afloramiento anterior; nótese los carbonatos pardos y las vetillas blancas de cuarzo de la silicificación.*

*Fig. 6.1.20. Detail of the above outcrop. Note the brownish carbonates and the milky quartz veins of the silicification.*



*Fig. 6.1.21. Afloramiento de metapiroxenita. Zona sur de Bir Malhat (Tamnairat).*

*Fig. 6.1.21. Metapyroxenite outcrop. South zone of Bir Malhat (Tamnairat).*

Es posible, por tanto, que estos cuerpos de listwänitas representen antiguos cuerpos de rocas ultrabásicas localizados en la base del complejo, la cual se habría despegado por las cizallas. Posiblemente este despegue podría estar favorecido por la presencia de cuerpos originalmente olivínicos pero posteriormente serpentínicos; la carbonatización y sobretodo la silicificación parecen ser fenómenos mucho más tardíos y producidos posiblemente en los estadios finales del proceso de cizallamiento y alteración hidrotermal, como lo sugieren la

presencia eventual de rellenos drúsicos y geodas en las vetas de cuarzo.

### *Metapiroxenitas*

Análogamente a las listwänitas, con las que pueden compartir afloramiento, aparecen en los bordes del complejo o como lentes aislados. No producen relieves; dan colores oscuros en afloramiento (fig. 6.1.21) y están foliadas; los piroxenos están alterados a anfíboles.



Fig. 6.1.22. Gabros bandeados. Zona N de Bir Malhat.  
Fig. 6.1.22. Banded gabbros. Zone N of Bir Malhat.



Fig. 6.1.23. Gabros bandeados. Zona N de Bir Malhat.  
Fig. 6.1.23. Banded gabbros. Zone N of Bir Malhat.



Fig. 6.1.24. Leucometagabro. Zona N de Bir Malhat.  
Fig. 6.1.24. Leucometagabbro. Zone N of Bir Malhat.



Fig. 6.1.25. Gabro. Zona N de Bir Malhat.  
Fig. 6.1.25. Gabbro. Zone N of Bir Malhat.



Fig. 6.1.26. Gabro. Zona N de Bir Malhat.  
Fig. 6.1.26. Gabbro. Zone N of Bir Malhat.



Fig. 6.1.27. Metagabro. Zona N de Bir Malhat.  
Fig. 6.1.27. Metagabbro. Zone N of Bir Malhat.



Fig. 6.1.28. Metagabro pegmatítico. Bir Malhat (S).  
Fig. 6.1.28. Pegmatitic metagabbro. Bir Malhat (S).



Fig. 6.1.29. Metagabro pegmatítico. Bir Malhat (N).  
Fig. 6.1.29. Pegmatitic metagabbro. Bir Malhat (N).

### *Gabros y metagabros*

Los gabros son las rocas más comunes en el complejo estratificado de Bir Malhat, y forman bandas de espesor desde centimétrico a varias decenas de metros, que pueden ser muy continuas lateralmente. Estas rocas no acostumbra a generar relieves significativos que destaquen en la penillanura, pero algunos niveles pueden formar alineaciones de microrelieves con escasos metros de desnivel pero distinguibles en imagen fotosatelital (fig. 6.1.22, 6.1.23).

Por lo general, los gabros del complejo de Bir Malhat se encuentran retrogradados en facies anfíbolitas, de manera que los piroxenos se encuentran reemplazados por anfíboles de grano fino y color verde pálido a grisáceo, y la plagioclasa por nuevas generaciones de plagioclasa, que presentan un brillo mate en muestra de mano.

Por su composición, los gabros de Bir Malhat oscilan desde leucogabros con poca proporción de máficos y predominio de la plagioclasa (fig. 6.1.24) hasta gabros más

melanocráticos, con proporción de piroxenos (o anfíbol) muy variable (fig. 6.1.25 a 6.1.30).

Por otra parte, desde el punto de vista del tamaño de grano, en el complejo de Bir Malhat se reconocen desde gabros granudos (fig. 6.1.25, 6.1.26) a gabros más pegmatíticos (fig. 6.1.27 a 6.1.30). En estos últimos es importante destacar la presencia muy común de sulfuros, principalmente pirrotina y pirita, pero también calcopirita y pentlandita, en forma de cristales reconocibles en muestra de mano (fig. 6.1.29). Los cuerpos de gabros pegmatíticos pueden tener cristales de tamaño decimétrico de plagioclasa y de piroxeno, pero siempre están retrogradados; las bandas de estos gabros pegmatíticos pueden tener decenas de metros de anchura.

La deformación y alteración asociada a las cizalla puede producir micropliegues en los cuerpos de gabo, particularmente en los microgabros (fig. 6.1.31), o puede obliterar totalmente las estructuras primarias (fig. 6.1.31).

Los gabros de Bir Malhat han sido usados en la confección de monumentos megalíticos prehistóricos, como los muros con forma de media luna (fig. 6.1.33).



*Fig. 6.1.30. Metagabro pegmatítico. Bir Malhat (S).*

*Fig. 6.1.30. Pegmatitic metagabbro. Bir Malhat (S).*



*Fig. 6.1.31. Microgabro cizallado. Bir Malhat (S).*

*Fig. 6.1.31. Sheared microgabbro. Bir Malhat (S).*



*Fig. 6.1.32. Metagabro. Bir Malhat (S).*

*Fig. 6.1.32. Metagabbro. Bir Malhat (S).*



*Fig. 6.1.33. Monumento prehistórico. Bir Malhat (S).*

*Fig. 6.1.33. Prehistoric monument. Bir Malhat (S).*

*Anortositas y metaanortositas*

Las anortositas se encuentran prácticamente en todas las tres zonas de afloramientos de Bir Malhat, pero sólo se han encontrado como rocas frescas bien preservadas en la zona central de esta estructura, donde además son muy abundantes. En esta zona forman bandas de espesor decamétrico, que en afloramiento presentan un ligero color rojizo, debido a la alteración de los minerales de hierro a hematites de grano muy fino (fig. 6.1.34 a 6.1.37). Por lo general, las anortositas dentro de las bandas presentan una textura masiva, gaanuda.

En fractura fresca las anortositas se caracterizan por presentar una fractura irregular, según la exfoliación de los cristales de plagioclasa, que tienen un brillo vítreo intenso. Los cristales de plagioclasa acostumbran a tener entre pocos mm y 1 cm de longitud, con hábito prismático largo, y tienden a estar foliados según una foliación magmática. A veces se reconoce a visu el

maclado polisintético. La proporción de minerales máficos (piroxenos) es inferior al 5% en estas rocas, en las que ocupan una posición intersticial (intercumular) entre los cristales de plagioclasa cumular. A menudo los minerales máficos están alterados preferentemente, más que la plagioclasa, de modo que la roca tiende a desmenuzarse según los bordes de los cristales de plagioclasa, y según una disyunción bolar.

Las metaanortositas aparecen en las zonas más cizalladas y pierden el brillo vítreo de la plagioclasa al estar ésta recristalizada y tomar además un aspecto lechoso. Por lo general, en estas rocas ya no se reconoce la textura ígnea original, de modo que la plagioclasa no muestra la foliación ígnea primaria. Por su parte, los piroxenos originales se encuentran retrogradados a anfíboles, a menudo de tamaño de grano más fino y de color verdoso, de modo que aparecen como agregados de cristales de brillo mate. Estas rocas son muy comunes en el ala norte de la estructura de Bir Malhat y en la mayor parte de los afloramientos del ala sur.



Fig. 6.1.34. Anortosita. Zona centro de Bir Malhat.  
Fig. 6.1.34. Anorthosite. Center zone of Bir Malhat.



Fig. 6.1.36. Anortosita. Zona centro de Bir Malhat.  
Fig. 6.1.36. Anorthosite. Center zone of Bir Malhat.



Fig. 6.1.35. Anortosita. Zona centro de Bir Malhat.  
Fig. 6.1.35. Anorthosite. Center zone of Bir Malhat.



Fig. 6.1.37. Anortosita. Zona centro de Bir Malhat.  
Fig. 6.1.37. Anorthosite. Center zone of Bir Malhat.

### *Cromititas*

En el complejo de Bir Malhat, muy particularmente en las alas norte y sur, aparecen niveles de cromitita muy continuos, que pueden seguirse a lo largo de decenas de kilómetros, destacando a nivel de paisaje por

su color negro parduzo enfrente de las arenas o gabros de color grisáceo o crema (fig. 6.1.38 a 6.1.50). Están constituidos esencialmente por cromita de grano fino a grueso (más del 50%) y son niveles de fractura irregular, que producen un polvo marronáceo escasamente magnético.



*Fig. 6.1.38. Bandas de cromitita con gran continuidad lateral. Zona norte de Bir Malhat.*

*Fig. 6.1.38. Chromitite bands with a large lateral continuity. North zone of Bir Malhat.*



*Fig. 6.1.39. Bandas de cromitita con gran continuidad lateral. Zona norte de Bir Malhat.*

*Fig. 6.1.39. Chromitite bands with a large lateral continuity. North zone of Bir Malhat.*



*Fig. 6.1.40. Bandas de cromitita con gran continuidad lateral. Zona norte de Bir Malhat.*

*Fig. 6.1.40. Chromitite bands with a large lateral continuity. North zone of Bir Malhat.*



*Fig. 6.1.41. Bandas de cromitita con gran continuidad lateral. Zona norte de Bir Malhat.*

*Fig. 6.1.41. Chromitite bands with a large lateral continuity. North zone of Bir Malhat.*

Las cromititas se asocian con niveles de metapiroxenitas, las cuales por lo general están transformadas completamente en rocas anfibólicas por efecto del metamorfismo regional (fig. 6.1.46). Muy a menudo, estos niveles son también muy continuos y tienen una potencia desde pocos centímetros a unos pocos metros, y en ellas se encuentran intercalados varios niveles de cromititas de unos pocos centímetros de espesor. Por otra

parte, a menudo estos niveles se encuentran muy tectonizados, y pueden haber actuado como niveles de despegue de cabalgamientos; en este caso, los anfíboles pueden estar reemplazados por clorita.

En otros casos mucho más raros, las cromititas pueden estar asociados con niveles de dunita o incluso incluidos en los mismos. Por otra parte, estos niveles pueden tener una potencia muy variable, desde pocos



*Fig. 6.1.42. Bandas de cromitita con gran continuidad lateral. Zona norte de Bir Malhat.*

*Fig. 6.1.42. Chromitite bands with a large lateral continuity. North zone of Bir Malhat.*



*Fig. 6.1.43. Bandas de cromitita con gran continuidad lateral. Zona norte de Bir Malhat.*

*Fig. 6.1.43. Chromitite bands with a large lateral continuity. North zone of Bir Malhat.*



*Fig. 6.1.44. Bandas de cromitita con gran continuidad lateral. Zona norte de Bir Malhat.*

*Fig. 6.1.44. Chromitite bands with a large lateral continuity. North zone of Bir Malhat.*



*Fig. 6.1.45. Bandas de cromitita con gran continuidad lateral. Zona norte de Bir Malhat.*

*Fig. 6.1.45. Chromitite bands with a large lateral continuity. North zone of Bir Malhat.*

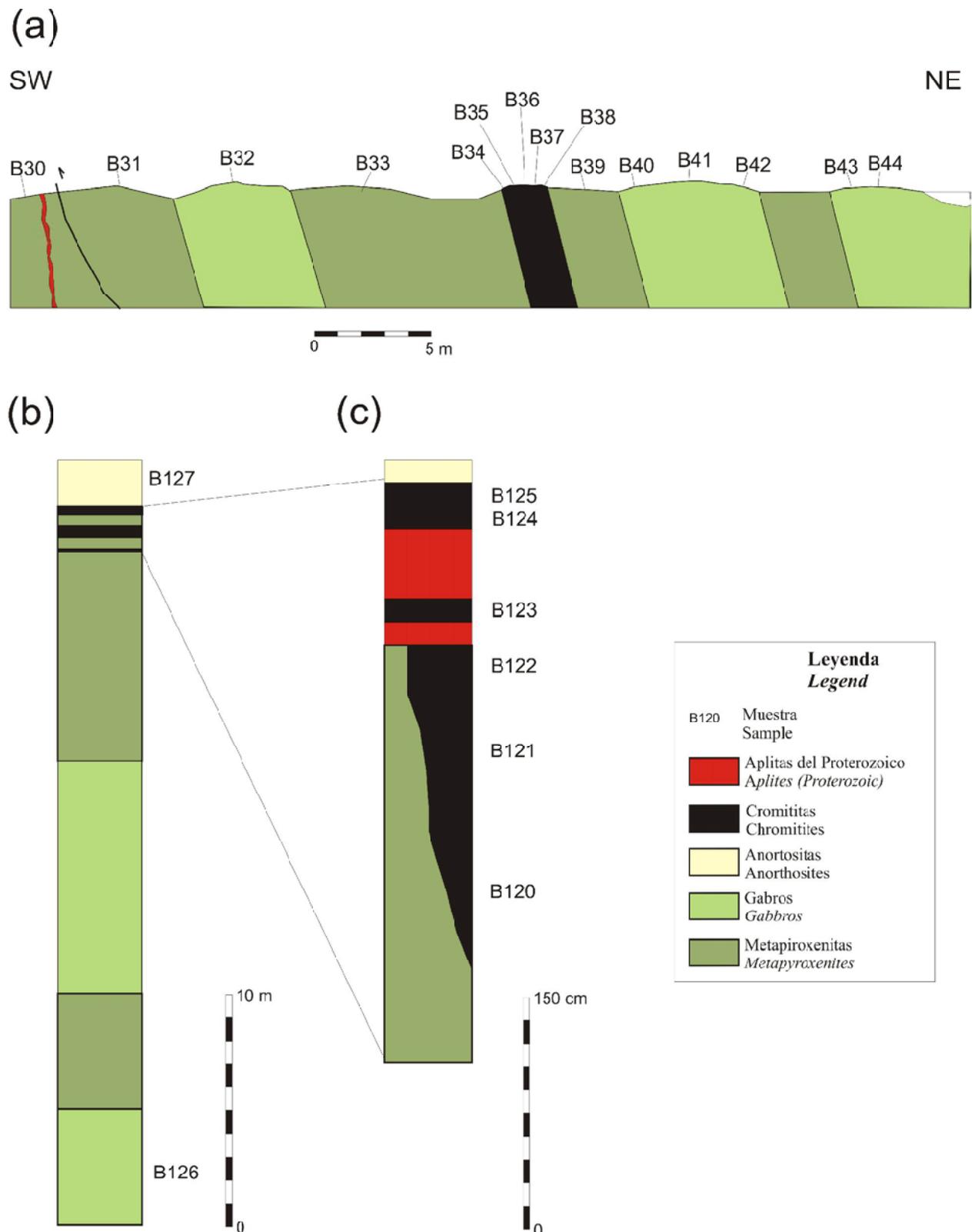


Fig. 6.1.46. (a) y (b) Perfiles de detalle de afloramientos de los tramos de metapiroxenitas con bandas de cromitita con gran continuidad lateral, en la zona norte del complejo de Bir Malhat. (c) Detalle de un segmento del perfil (b). Las aplitas son intrusivos tardíos ligados los granitoides y desvinculados del complejo.

Fig. 6.1.46. (a) and (b) Profiles of detail from the series comprising chromitite and metapyroxenite bands with a large lateral continuity, at the North zone of the Bir Malhat complex. (c) Detail of a segment of the profile (b). The aplites are late intrusivos linked with the granitoids and unrelated with the complex.



Fig. 6.1.47. *Bandas de cromitita con gran continuidad lateral. Zona norte de Bir Malhat.*  
 Fig. 6.1.47. *Chromitite bands with a large lateral continuity. North zone of Bir Malhat.*



Fig. 6.1.48. *Bandas de cromitita potentes. Zona norte de Bir Malhat.*  
 Fig. 6.1.48. *Thick chromitite bands. North zone of Bir Malhat.*



Fig. 6.1.49. *Bandas de cromitita con gran continuidad lateral. Zona norte de Bir Malhat.*  
 Fig. 6.1.49. *Chromitite bands with a large lateral continuity. North zone of Bir Malhat.*



Fig. 6.1.50. *Afloramiento de cromitita intemperizado. Zona norte de Bir Malhat.*  
 Fig. 6.1.50. *Altered chromitite outcrop. North zone of Bir Malhat.*

centímetros a más de 4 m (fig. 6.1.47, 6.1.48). Estos son los únicos niveles que llegan a constituir pequeños microrelieves de pocos decímetros de altura sobre la penillanura, mientras que el resto no destacan en la misma (fig. 6.1.49).

En general, en la zona superficial los niveles de cromita son muy sensibles a la meteorización física del desierto, quedando desmenuzados en fragmentos elongados casi siempre inferiores a 5 cm de longitud (fig. 6.1.50).

En cambio, al estar constituidas mayoritariamente por cromita, un mineral relativamente pesado y resistente a la meteorización química, los fragmentos de cromititas ricas en cromita que se hayan

fracturado durante los procesos de meteorización física tienden a preservarse en la superficie del afloramiento, y a quedar poco dispersados.

En cambio, los niveles de cromititas más ricos en anfíboles o cloritas intersticiales tienden a desmenuzarse más fácilmente y a no dar afloramientos significativos. Por todo lo anteriormente mencionado, es muy probable que haya muchísimos más niveles de cromititas pendientes de descubrir en otras zonas de la estructura, parcialmente cubiertos por arena.

Algunos de los niveles de cromitita de la zona norte pueden reseguirse sobre el terreno durante decenas de kilómetros, como se muestra en la figura 6.1.51, lo que sugiere la existencia de grandes reservas de mineral.

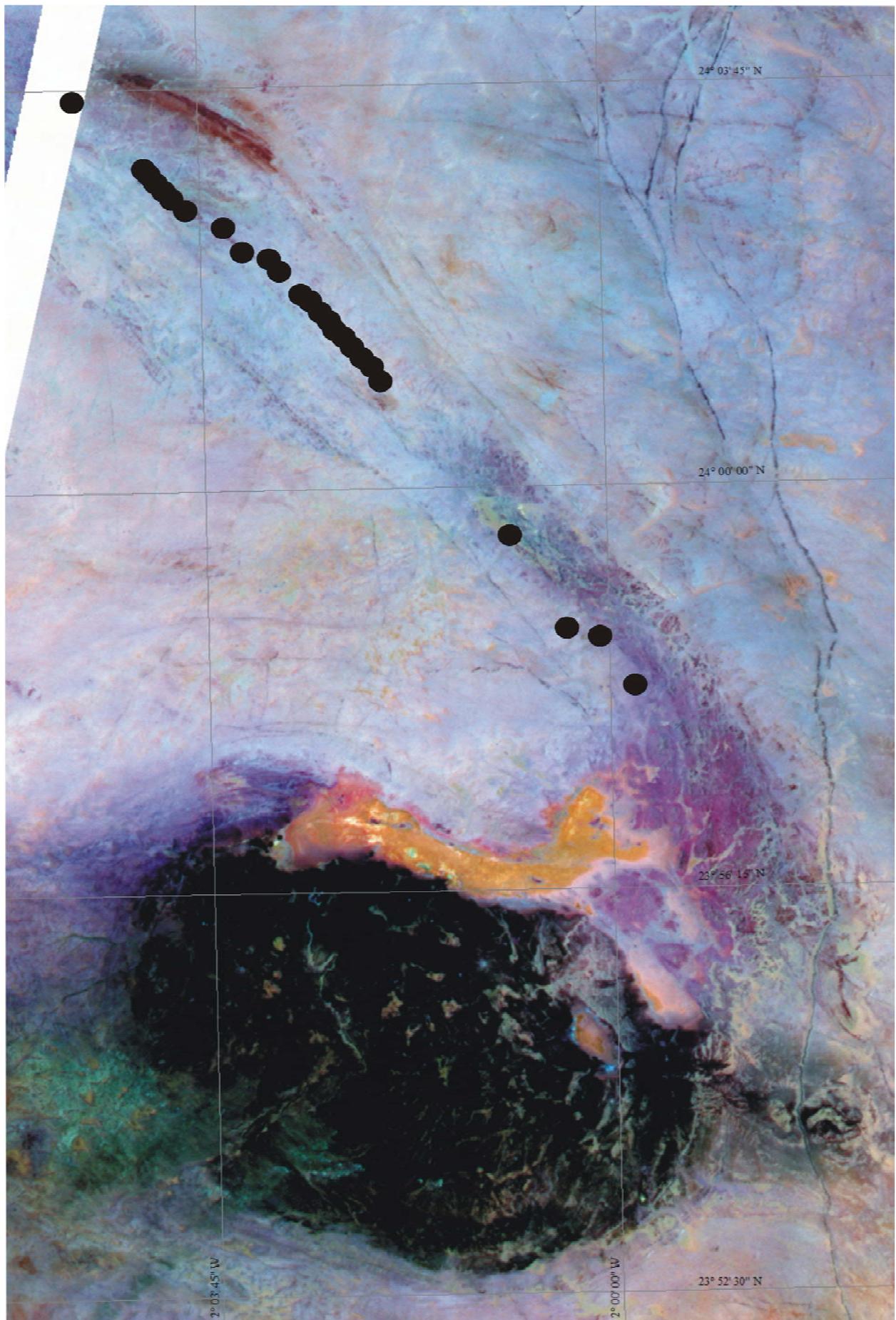


Fig. 6.1.51. Situación de los afloramientos de cromita en la zona norte de Bir Malhat. Imagen Aster.  
Fig. 6.1.51. Situation of the chromite outcrops at the North zone of Bir Malhat. Aster image.

### Niveles de óxidos de Fe-Ti

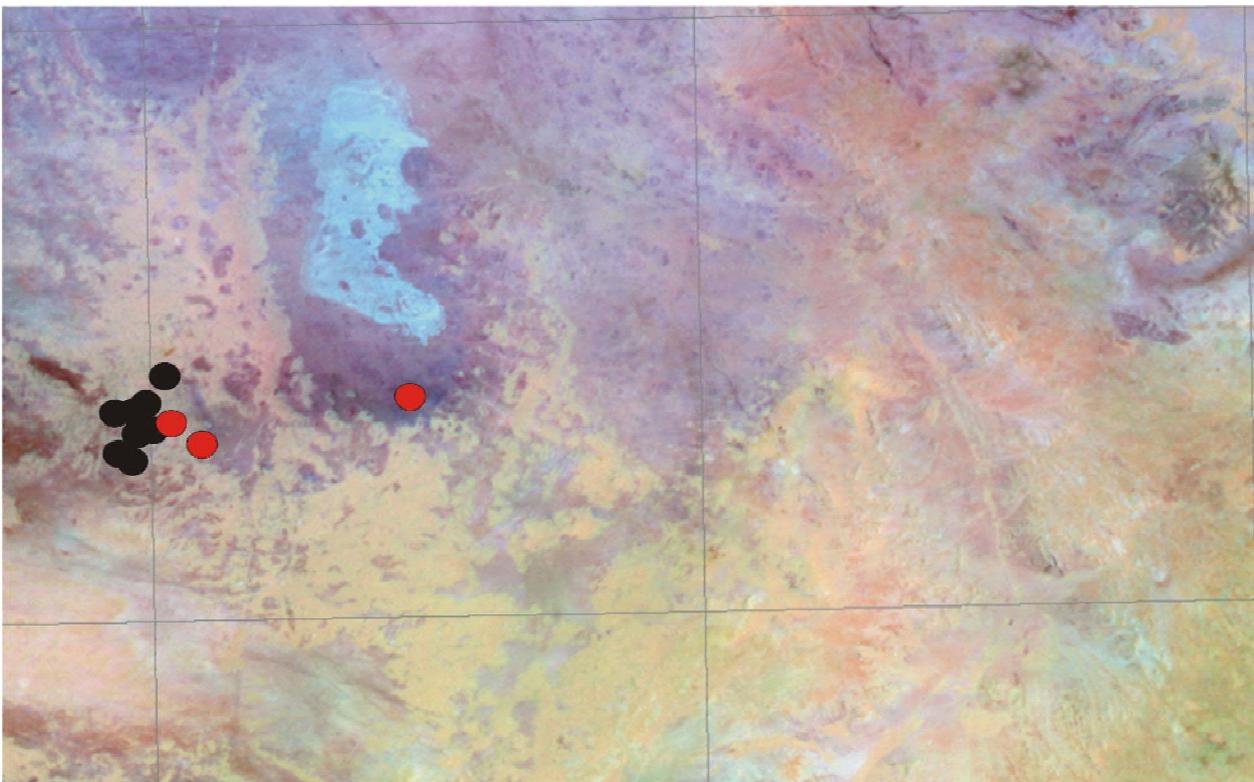
Estos niveles se han encontrado por el momento de forma abundante sólo en la parte sur del complejo, que es la menos estudiada por el momento. En esta zona, mucho más cercana a las grandes fallas que delimitan la unidad de Sfariat-Bu Daira, la tectonización es mucho más intensa y los afloramientos están muy compartimentados.

Se trata de niveles de potencia cuando menos decimétrica (incluso métrica) de óxidos masivos, poco foliados, con fractura irregular, duros y densos, constituidos en su casi totalidad por magnetita e ilmenita, de color negro y brillo mate o semimetálico en el campo y fácilmente reconocibles por ser fuertemente magnéticos y por dar una raya o polvo totalmente negro, aspectos que los diferencian de los niveles de cromita.

Estos paquetes parecen presentar una buena continuidad lateral, puesto que sus afloramientos se pueden seguir al menos algunos centenares de metros, quedando interrumpidos por las zonas de

cizalla, si bien pueden aparecer en otros bloques compartimentados por estas fallas.

Se encontraron además algunos niveles de potencia centimétrica de magnetita, en las zonas norte y central, casi siempre como fragmentos sueltos. No obstante, una vez estudiados al microscopio, ha podido comprobarse que eran nivelillos de BIF muy pequeños, compuestos de magnetita y cuarzo muy milonitizados. De hecho, en los pequeños afloramientos en que se han podido estudiar in situ estos niveles de magnetita, se han encontrado asociados con niveles de anfibolitas muy deformadas, por lo que este conjunto puede formar parte de los Greenstone belts que encajan al intrusivo, y que habrían servido como niveles de despegue de cabalgamientos, como acontece en muchos casos con los BIF en muchísimos de los afloramientos del Sahara Occidental. Por tanto, su posición actual viene determinada por la tectónica y están desvinculados de los procesos magmáticos del complejo intrusivo de Bir Malhat. Por consiguiente, hasta el momento no queda claro que haya afloramientos de niveles de Fe-Ti en las zonas norte y central.



*Fig. 6.1.52. Situación de los afloramientos de cromitita (círculos negros) y de óxidos de Fe-Ti (círculos rojos) en la zona sur de Bir Malhat. La zona blancuzca es la sabkha de Bir Malhat.*

*Fig. 6.1.52. Situation of the chromitite outcrops (black circles) and Fe- and Ti- oxides (red circles) at the North zone of Bir Malhat. The bluish-white is the Bir Malhat sabkha.*

### 6.1.2. SERIES DE LA COBERTERA (?) DEL DOMINIO DE SFARIAT-BU DAIRA

Aunque puede ser difícil establecer en algunos momentos la posición estratigráfica de algunos de los materiales, debido a la intensísima tectonización presente en la zona, parece que se dan dos niveles estructurales separados por una discordancia, puesto que se reconocen materiales afectados por grado metamórfico aparentemente más bajo que el que se da en los materiales del basamento de la zona, aunque hacen falta dataciones mediante U/Pb y estudios petrográficos mucho más detallados para poder precisar este extremo.

En las series posiblemente en niveles superiores se identifican tramos de esquistos, mármoles, chert, basaltos y riolitas, y se encuentran intruidas por granitoides calcoalcalinos del Proterozoico.

#### Mármoles

Los paquetes de mármol aparecen en numerosos puntos de la zona de Sfariat, aunque los más potentes y continuos se encuentran en el extremo W de la misma, en la zona de Galb Sisa (Fig. 6.1.53 a 6.1.55). En esta zona, aunque se encuentra muy tectonizada, la unidad con mármoles puede llegar a alcanzar los 500 m de potencia, o incluso más. Tampoco se trata de un único nivel de mármoles, sino que además de algunos paquetes masivos de potencia de un centenar de metros, compuestos por paquetes de potencia métrica a decamétrica, también hay paquetes de potencia muy variable, centimétrica, decimétrica, métrica a decamétrica aislados del resto e intercalados entre esquistos. No obstante, la realización de columnas estratigráficas de detalle es un trabajo muy complicado debido al grado de tectonización de los materiales, y que queda muy lejos de los objetivos de esta tesis.

A nivel de detalle, en los niveles de mármoles se distinguen alternancias de bandas de grosor centimétrico a decimétrico más claras con otras de grosor equivalente



*Figura 6.1.53. Afloramiento de mármoles, E de Galb Sisa.*

*Figure 6.1.53. Marble outcrop, E of Galb Sisa.*



*Figura 6.1.54. Afloramiento de mármoles, E de Galb Sisa.*

*Figure 6.1.54. Marble outcrop, E of Galb Sisa.*

ligeramente más oscuras, con tonos grisáceos o rojizos. Las primeras pueden corresponder a mármoles formados por metamorfismo de niveles calizos muy puros; el resto probablemente corresponde al metamorfismo



*Figura 6.1.55. Afloramiento de mármoles, E de Galb Sisa.*

*Figure 6.1.55. Marble outcrop, E of Galb Sisa.*



*Figura 6.1.56. Afloramiento de mármoles, E de Galb Sisa.*

*Figure 6.1.56. Marble outcrop, E of Galb Sisa.*



*Figura 6.1.57. Afloramiento de mármoles, E de Galb Sisa.*

*Figure 6.1.57. Marble outcrop, E of Galb Sisa.*



*Figura 6.1.58. Afloramiento de mármoles con bandas claras y oscuras, E de Galb Sisa.*

*Figure 6.1.58. Marble outcrop with clear and dark bands, E of Galb Sisa.*



*Figura 6.1.59. Afloramiento de mármoles con bandas claras y oscuras, con laminación cruzada de gran escala. E de Galb Sisa.*

*Figure 6.1.59. Marble outcrop with clear and dark bands, with large scale cross-bedding. E of Galb Sisa.*



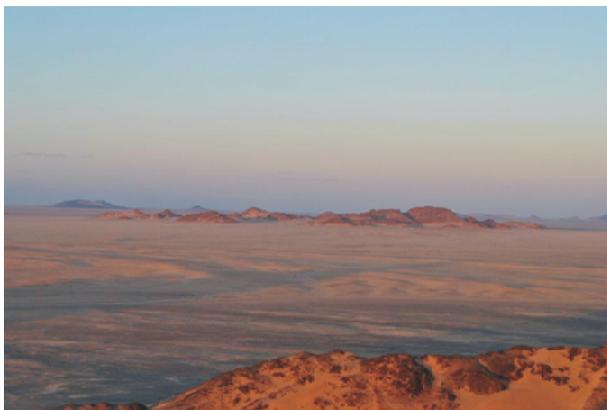
*Figura 6.1.60. Afloramiento de mármoles versicolores con microplegues, E de Galb Sisa.*

*Figure 6.1.60. Versicolor marble outcrop with microfolding, E of Galb Sisa.*

de niveles de calizas contaminados con material pelítico muy fino, o con materia grafitosa (fig. 6.1.58).

Algunos paquetes de mármoles pueden presentar laminación cruzada de gran escala, lo que sugiere que pueden haber existido calcarenitas en esta unidad (fig. 6.1.58)

Los mármoles pueden mostrar micropliegues de tamaño centimétrico a decimétrico que pueden tener un origen tectónico, favorecido por el carácter plástico de estas rocas, o ser debidos a procesos de deslizamientos gravitacionales submarinos (slumps; fig. 6.1.60).



*Figura 6.1.61. En primer término, afloramiento de metabasaltos en Agazrazraz Lajdar; al fondo, los granitos de Agazrazraz Labiad.*

*Figure 6.1.61. Metabasalt outcrops of Agazrazraz Lajdar at the foreground of the image; note the Agazrazraz Labiad granites at the background of the image.*



*Figura 6.1.63. Afloramiento de metabasaltos en Agazrazraz Lajdar. Imagen cedida por J. Combs.*

*Figure 6.1.63. Metabasalt outcrop at Agazrazraz Lajdar. Image from J. Combs.*

## Metabasaltos

Forman cuerpos potentes, muy masivos y fuertemente foliados, que afloran principalmente en la parte N y W de la unidad, con posición estratigráfica dudosa; los mayores afloramientos se encuentran en la cordillera de Agazrazraz Lajdar (fig. 6.1.61 a 6.1.64). Son rocas oscuras en afloramiento, densas y de grano fino. Por lo general tienen una estructura masiva; no se han encontrado vacuolas, pero a veces se reconocen estructuras de tipo pillow, típicas de emplazamiento de las lavas en medios submarinos (fig. 6.1.64).



*Figura 6.1.62. Afloramiento de metabasaltos en Agazrazraz Lajdar. Imagen cedida por J. Combs.*

*Figure 6.1.62. Metabasalt outcrop at Agazrazraz Lajdar. Image from J. Combs.*



*Figura 6.1.64. Estructuras de pillow lavas en afloramiento de metabasaltos en Agazrazraz Lajdar. Imagen cedida por J. Combs.*

*Figure 6.1.64. Pillow lavas structure in metabasalt outcrop at Agazrazraz Lajdar. Image from J. Combs.*

**BIF**

Se trata asimismo de niveles de potencia decamétrica y de continuidad lateral en el orden de decenas o cientos de kilómetros (figuras 6.1.61 a 6.1.65). Son cuerpos bandeados, que afloran principalmente en la cordillera de Bu Daira, pero aparecen en muchos otros lugares; como se recordará pueden aparecer incluso como niveles de despegue dentro del complejo de Bir Malhat.

La posición estratigráfica de estos BIF es asimismo dudosa; casi siempre sus contactos con

las otras son mecánicos. De hecho, es posible que haya varios niveles, pues se han encontrado con contactos tectonizados por encima de cuerpos de paragneises de edad asimismo incierta, como en la cordillera de Bu Daira (fig. 6.1.69 a 6.1.7171), pero pueden estar también intercalados entre paquetes esquistosos, como en la zona de Dueicat. Como se recordará, se han encontrado asimismo como niveles despegados dentro del complejo de Bir Malhat.

Son rocas bandeadas magnéticas, de color oscuro constituidas en su mayor parte por magnetita, con menores proporciones de cuarzo.



*Figura 6.1.65. Vista general de la zona central de la cordillera de Bu Daira, cuyas crestas están constituidas por niveles de BIF.*  
*Figure 6.1.65. General view of the Bu Daira range, whose crests are made up by the alignment of BIF beds.*



*Figura 6.1.66. Vista general de la zona central de la cordillera de Bu Daira, cuyas crestas están constituidas por niveles de BIF.*  
*Figure 6.1.66. General view of the Bu Daira range, whose crests are made up by the alignment of BIF beds.*



*Figura 6.1.67. Vista general de la zona central de la cordillera de Bu Daira, cuyas crestas están constituidas por niveles de BIF.*  
*Figure 6.1.67. General view of the central zone of the Bu Daira range, whose crests are made up by the alignment of BIF beds.*



*Figura 6.1.68. Vista general de la zona central de la cordillera de Bu Daira, cuyas crestas están constituidas por niveles de BIF.*  
*Figure 6.1.68. General view of the central zone of the Bu Daira range, whose crests are made up by the alignment of BIF beds.*

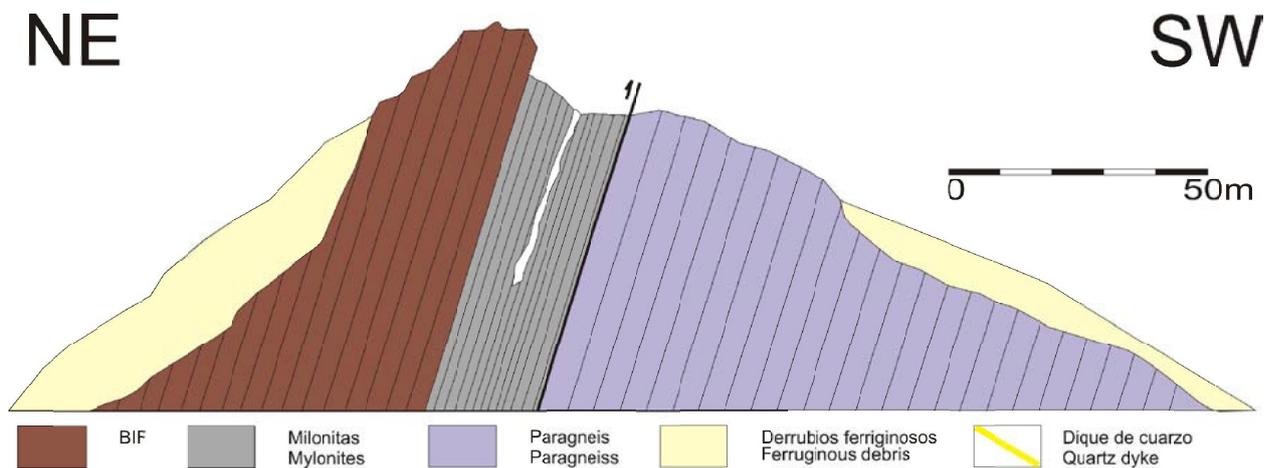


Figura 6.1.69. Perfil geológico en la zona central de la cordillera de Bu Daira, con BIF en contacto tectónico con paragneises.

Figure 6.1.69. Geological profile at the center zone of the Bu Daira range, with BIF in tectonic contact with paragneises.

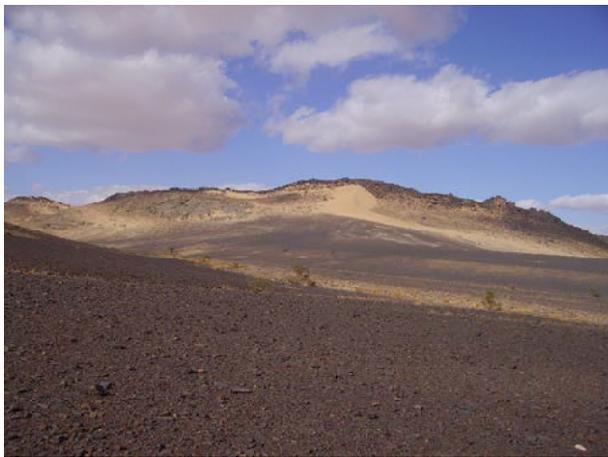


Figura 6.1.70. Zona central de la cordillera de Bu Daira, con BIF sobre paragneises.

Figure 6.1.70. Center of Bu Daira range, with BIF covering paragneises.



Figura 6.1.71. Detalle de la imagen anterior. Los paragneises son grises; la cresta oscura es de BIF.

Figure 6.1.71. Detail of the above image. Paragneisses are greyish; the dark crest has BIF.



Figura 6.1.72. Vista de detalle del paquete de BIF de la cresta de la imagen anterior, en Bu Daira.

Figure 6.1.72. Detail view of the BIF beds at the above crest, in Bu Daira.



Figura 6.1.73. Detalle del afloramiento de BIF de los montes de Dueicat.

Figure 6.1.73. Detail of the BIF bands at the Dueicat mountains.

### 6.1.3. PLUTONES TARDIOROGÉNICOS

Forman cuerpos de tamaño muy variable, por lo general en el orden kilométrico, aunque los hay de mayores o más pequeños. Estos cuerpos no están metamorfizados pero sí afectados por el cizallamiento de las grandes estructuras de cizalla, que tienden a deformarlo produciendo cuerpos casi siempre elongados.

Se trata de rocas granudas, casi siempre de grano fino a medio, aunque las hornblenditas son muy diferentes del resto.

Aunque no se dispone de la edad de todos los materiales plutónicos, parece que casi todos ellos pueden tener una afinidad calcoalcalina y pueden formar parte del mismo fenómeno magmático. Distinguiremos cuerpos de hornblenditas, dioritas, tonalitas, granodioritas y granitos, muchos de ellos con un cortejo filonianano de diques de aplita, pegmatitas y pórfidos, lo que sugiere un emplazamiento muy poco profundo.

#### Hornblenditas

Las hornblenditas forman cuerpos plutónicos pequeños (en realidad, stocks), de forma aproximadamente circular, encajando en



*Figura 6.1.74. Afloramiento de hornblenditas piroxénico plagiocásicas, con disjunción bolar. Nótense el tamaño de grano grueso de los minerales. Cerca del pozo de Bir Malhat.*

*Figura 6.1.74. Outcrop of plagioclase pyroxene hornblendites, with bolar disjunction. Note the large size of the minerals. Near the Bir Malhat pit.*

rocas metamórficas. Las hornblenditas (de hecho, son hornblenditas plagioclásicas piroxénicas) son rocas de aspecto muy característico en el campo, que los diferencia de cualquier otra roca de la zona. Presentan un color gris verdoso oscuro en afloramiento, con disyunción bolar (fig. 6.1.74); no están bandeadas y tienen un tamaño de grano muy heterométrico, en el que destacan unos megacristales excepcionalmente grandes de anfíbol verde de tipo hornblenda (de más de 2 cm de diámetro; fig. 6.1.75, por lo general de unos 4 cm y alcanzando a veces los 7 cm). Se trata de cristales idiomórficos con hábito prismático corto, con la típica forma de anfíbol y en los que se reconoce fácilmente la exfoliación. Estos cristales están orientados al azar y destacan sobre una matriz granuda más fina, con tamaño de grano fino.

La matriz tiene cristales alotriomórficos de pocos milímetros de diámetro desorientados y está compuesta por plagioclasa de color lechoso y piroxenos o anfíboles de colores oscuros; a veces se reconocen cristales de sulfuros de tamaño milimétrico; a veces, estas mineralizaciones se relacionan con concentraciones de minerales secundarios en vetillas, como minerales de los grupos de las cloritas y de la epidota.



*Figura 6.1.75. Detalle del afloramiento anterior. Nótense grandes cristales de hornblenda en una matriz rica en minerales máficos.*

*Figura 6.1.75. Detail of the above outcrop. Note large hornblende crystals in a matrix also rich in mafic minerals.*

## Granitoides

Existen decenas de afloramientos de cuerpos intrusivos de granitoides, de formas muy variables, por lo común elongadas al estar afectados por las zonas de cizalla. Sus dimensiones muy asimismo muy variables, desde pocos centenares de metros (pequeños stocks) hasta varios kilómetros de longitud. Sus composiciones son asimismo muy diversas, desde dioritas hasta leucogranitos.

Las dioritas son muy comunes y pueden llegar a formar cuerpos grandes, como en la zona más al N de la unidad. Más al sur las

intrusiones son más reducidas. Son rocas granudas, de tamaño de grano medio, con color gris oscuro algo verdoso por la presencia de hornblenda.

En el área son mucho más comunes, no obstante, las intrusiones de tonalitas o granodioritas. Estas rocas afloran extensamente, por ejemplo, en el área de Agazraz Labiad, que se ha trabajado más extensamente al estar mineralizada en oro. El relieve de la zona está compuesto por pequeñas colinas graníticas (fig. 6.1.76 a 6.1.78), recubierto por formaciones sedimentarias recientes llamadas Rag (fig. 6.1.79).



*Figura 6.1.76. Vista general de los relieves graníticos de los montes de Agazraz Labiad.*

*Figure 6.1.76. General view of the granitic reliefs of the mountains of the Agazras Labiad area.*



*Figura 6.1.77. Detalle del afloramiento de los granitoides cizallados de la zona de Agazraz Labiad en el campamento base.*

*Figure 6.1.77. Detail of the inner part of the Agazras Labiad area in the base camp. Note the sheared granitic hills.*



*Figura 6.1.78. Aspecto típico de las colinas tipo inselberg de Agazraz Labiad, con aspecto oscuro de los granitos.*

*Figure 6.1.78. A typical aspect of the inselberg hills of the Agazraz Labiad area, with the darker granitic hills.*



*Figura 6.1.79. Derrubios oscuros al pie de las colinas de Agazraz Labiad, que pasan lateralmente a arenas no consolidadas.*

*Figure 6.1.79. Debris deposits (darker) at the bottom of Agazras Labiad hills. These sediments pass laterally to unconsolidated sands.*



*Figura 6.1.80. Afloramiento de granodioritas sericitizadas en una zona de falla, Agazrazraz Labiad.*

*Figure 6.1.80. Outcrop of sericitized granodiorites near a shear zone, Agazrazraz Labiad.*



*Figura 6.1.81. Afloramiento de granodioritas meteorizadas, Agazrazraz Labiad.*

*Figure 6.1.81. Outcrop of weathered granodiorites, Agazrazraz Labiad.*



*Figura 6.1.82. Fragmentos de granodioritas frescas extraídos del pozo de Bir Malhat. Nótese la ausencia de rocas frescas en superficie.*

*Figure 6.1.82. Fragments of fresh granodiorites extracted from the Bir Malhat pit. Note the absence of fresh rocks in surface.*

Se ha podido distinguir dos tipos principales de litofacies graníticas en base al estudio petrográfico: granodioritas y tonalitas. Las granodioritas parecen ser dominantes en muchos de los macizos, y ambos tipos de macizos pueden compartir una misma zona, sugiriendo un origen común. En Agazrazraz Labiad, por ejemplo, las tonalitas parecen estar más concentradas en la parte de afuera del macizo. Sin embargo, el muestreo no es lo suficientemente completo como para demostrar la distribución de estas litofacies.

Todas estas rocas graníticas sufrieron una deformación, que puede deformar la morfología original de los intrusivos o condicionar el relieve. De este modo, las colinas o montículos aislados de la zona de Agazrazraz Labiad tienden a tener una forma alargada, más o menos a lo largo de la dirección NW-SE de las cizallas, y el conjunto de los afloramientos tiene una forma aproximadamente elipsoidal orientada en esta misma dirección. Este alargamiento se relaciona con la foliación regional de las rocas graníticas, que se produce por la actividad de fallas con un dirección de  $138^\circ$  y un buzamiento en  $45^\circ N$  como promedio.

Existe además una foliación asociada al desarrollo de las fallas. En detalle, en las zonas más cercanas a las cizallas, la foliación produce una fábrica orientada de los cristales de feldespato, que pueden ser distinguibles en la escala del afloramiento. Además, hay vetas de cuarzo relacionados con estas fallas.

La circulación de fluidos hidrotermales por las zonas de fractura ha determinado una intensa alteración sericítica en las proximidades de las mismas (fig. 6.1.80).

En afloramiento los granitoides tienden a estar muy alterados; la meteorización tiende a alterar a los feldespatos produciéndose disyunción bolar (fig. 6.1.81). Esta alteración intensa conlleva a que los granitos no lleguen a conformar relieves significativos, y a la desagregación de la roca hasta unos pocos metros de profundidad para dar arenas silíceas, que acaban recubriendo a los afloramientos de granitoides en la penillanura, como puede verse en el pozo de Bir Malhat (fig. 6.1.82).

#### 6.1.4. ZONAS DE CIZALLA

Las zonas de cizalla son un elemento geológico regional de primer orden. Estas fallas forman parte de un complejo de cizallas que se extiende por la parte central de la Dorsal de Reguibat con una dirección dominante NW-SE. Además de las fallas principales, que limitan el dominio de Sfiat-Bu Daira, hay centenares de fallas satélites que compartimentan toda la zona. Estas fallas llevan asociados cabalgamientos importantes, con saltos de falla que pueden alcanzar decenas de kilómetros.

Todas estas fallas tienen asociadas zonas de milonización muy importantes en cuanto a extensión

(se pueden seguir durante centenares de kilómetros) y anchura (a veces, de hasta 10 kilómetros). En estas zonas se reconocen texturas de tipo milonítico o cataclástico, que llevan asociadas circulaciones de fluidos hidrotermales, con una matriz muy rica en sulfuros de tamaño de grano muy fino (que por alteración supergénica confieren a la roca colores rojizos). Cuando afectan a granitoides les producen alteraciones sericiticas, turmalinizaciones, potásicas (con color rojizo, fig. 6.1.83 a 6.1.86); en cambio, cuando alteran gabros se forman grandes cantidades de epidota de tamaño de grano muy fino, que confiere a la roca una coloración verde amarillento, visible desde lejos o incluso foto satélite.



*Figura 6.1.83. Aspecto de campo de la textura cataclástica, asociada a la falla de Sasaiat, desarrollada sobre granitoides.*

*Figure 6.1.83. Field aspect of the cataclastic texture, associated with the Sasaiat fault, developed on granitic rocks.*



*Figura 6.1.85. Aspecto de campo de la textura cataclástica, asociada a la falla de Sasaiat, desarrollada sobre granitoides.*

*Figure 6.1.85. Field aspect of the cataclastic texture, associated with the Sasaiat fault, developed on granitic rocks.*



*Figura 6.1.84. Aspecto de campo de la textura cataclástica, asociada a la falla de Sasaiat, desarrollada sobre granitoides.*

*Figure 6.1.84. Field aspect of the cataclastic texture, associated with the Sasaiat fault, developed on granitic rocks.*



*Figura 6.1.86. Aspecto de campo de la textura cataclástica, asociada a la falla de Sasaiat, desarrollada sobre granitoides.*

*Figure 6.1.86. Field aspect of the cataclastic texture, associated with the Sasaiat fault, developed on granitic rocks.*

### 6.1.5. DIQUES SUBVOLCÁNICOS TARDÍOS

Parece que existen diversas generaciones de diques, entre ellos diques de diabasa tholeiítica y otros de composición aparentemente boninítica o sanukítica, sin que se haya podido establecer por el momento la relación entre los mismos.

En principio, los diques parecen cortar a las zonas de cizalla regionales, al menos en el caso de los tholeiíticos, o emplazarse según la foliación regional o según el bandeo de los gabros cuando están dentro del complejo de Bir Malhat, al que cortan claramente (fig. 6.1.87).

En otros casos, estos diques rellenan antiguas fracturas que parecen haber sido fallas de desgarre, con direcciones dominantes aproximadamente NNW-SSE y E-W, y que pueden haber tenido desplazamientos importantes, en el orden de varias decenas de kilómetros.

Algunos de los diques, aparentemente los más sanukíticos, pero también algunos de los tholeiíticos, siguen fracturas de trazado muy irregular con un trazado a grosso modo aproximadamente N-S, que parecen muy tardías, y que podrían representar otro evento

magmático mucho más tardío que el de la mayor parte de diques. Este conjunto de diques parecen estar bien representados en la zona de Bir Malhat y se prolongan en territorio de Mauritania.

Los diques son muy penetrativos a lo largo y ancho del conjunto de la unidad, pero pueden estar espaciados desde pocas decenas de metros a algunos kilómetros, aunque en muchas zonas tienden a estar separados algunos centenares de metros. Su anchura es asimismo muy variable, pero generalmente tienen unas pocas decenas de metros, aunque los hay más delgados.

Aunque no llegan a constituir relieves topográficos que resalten sobre la penillanura, generalmente son fácilmente distinguibles en las imágenes de satélite al destacar por su color más oscuro en relación a las rocas encajantes, casi siempre de colores más claros (Fig. 6.1.83).

En el campo se distinguen por ser rocas densas, casi siempre muy duras, muy oscuras (aunque los de aspecto más boninítico tienen un color parduzco muy oscuro) y son granudas, distinguiéndose un tamaño de grano fino con cristales de aspecto tabular. A veces tienen pátinas de hidróxidos secundarios de hierro.



Figura 6.1.87. Foto satélite mostrando dos diques subparalelos de diabasa tholeiítica encajados siguiendo el bandeo de los gabros en dirección NW-SE.

Figure 6.1.87. Satellital image showing two dikes of tholeiitic diabase hosted following the gabbro banding in direction NW-SE.