

**PETROFÍSICA, AEROMAGNETISMO, RADIOMETRÍA Y
GRAVIMETRÍA: EXPLORACIÓN REGIONAL Y
DELIMITACIÓN DE ZONAS ANÓMALAS EN EL
DOMINIO NOROCCIDENTAL DE LA FAJA PIRÍTICA**

*(Informe de geofísica. Proyecto "Exploración regional en la Faja Pirítica 2001-2004:
aplicación del análisis neuronal de datos multidisciplinares a la delimitación de zonas
anómalas")*

José Luis García Lobón
Concepción Ayala Galán
Diciembre, 2004

**PETROFÍSICA, AEROMAGNETISMO, RADIOMETRÍA Y GRAVIMETRÍA:
EXPLORACIÓN REGIONAL Y DELIMITACIÓN DE ZONAS ANÓMALAS EN EL
DOMINIO NOROCCIDENTAL DE LA FAJA PIRÍTICA**

(Informe de geofísica. Proyecto “Exploración regional en la Faja Pirítica 2001-2004: aplicación del análisis neuronal de datos multidisciplinares a la delimitación de zonas anómalas”)

ÍNDICE

0. OBJETIVOS	7
1. INTRODUCCIÓN: JUSTIFICACIÓN Y MEDIOS.....	7
2. PETROFÍSICA REGIONAL DE ROCAS DEL DOMINIO NOROCCIDENTAL DE LA FAJA PIRÍTICA	8
2.1. ANTECEDENTES.....	8
SUSCEPTIBILIDAD MAGNÉTICA. MINERALES FERROMAGNÉTICOS	8
PETROLOGÍA MAGNÉTICA.....	10
DENSIDAD DE MINERALES Y ROCAS	13
RADIOACTIVIDAD DE MINERALES Y ROCAS.....	13
CAMPAÑAS GEOFÍSICAS UTILIZADAS.....	15
2.2. METODOLOGÍA.....	16
CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA DE PARTIDA. CODIFICACIÓN DE UNIDADES	16
RECOGIDA DE MUESTRAS. UNIDADES REPRESENTADAS	16
MEDICIONES. FLUJO DE DATOS.....	22
RELACIONES ENTRE PARÁMETROS. DIAGRAMAS BIVARIANTES.....	25
2.3. DENSIDAD, SUSCEPTIBILIDAD Y RADIOACTIVIDAD POR GRUPOS DE ROCAS	28
2.3.1. ROCAS VOLCÁNICAS BÁSICAS.....	28
2.3.1.1 ANDESITAS	28
2.3.1.2 BASALTOS ESPILITIZADOS (Sills Básicos).....	32
2.3.1.3 DIABASAS.....	34
2.3.1.4 TRAQUIANDESITAS BASÁLTICAS.....	36
2.3.2. ROCAS VOLCÁNICAS ÁCIDAS.....	36
2.3.2.1 DACITAS	36
2.3.2.2 RIOLITAS	37

2.3.2.3 TOBAS	42
2.3.2.4 JASPES Y CHERT	43
2.3.3. ROCAS VOLCÁNICAS: RESUMEN Y DISCUSIÓN	44
2.3.4. ROCAS SEDIMENTARIAS Y METAMÓRFICAS.....	46
2.3.4.1 ARENISCAS Y GRAUVACAS.....	46
2.3.4.2 CUARCITAS	46
2.3.4.3 ESQUISTOS	50
2.3.4.4 PIZARRAS	50
2.3.4.5 ROCAS SEDIMENTARIAS Y METAMÓRFICAS: RESUMEN Y DISCUSIÓN	51
3. INTERPRETACIÓN REGIONAL DE CAMPOS POTENCIALES Y RADIOMETRÍA GAMMA NATURAL DEL DOMINIO NOROCCIDENTAL DE LA FAJA PIRÍTICA.....	52
3.1. CAMPOS POTENCIALES: GRAVIMETRÍA Y MAGNETISMO	52
3.1.1. INTERPRETACIÓN GEOLÓGICA	52
3.1.1.1 ANOMALÍAS DE CAMPO TOTAL	52
3.1.1.2 ANOMALÍA DE BOUGUER RESIDUAL.....	56
3.1.2. ESTRUCTURA. ESTIMACIONES DE PROFUNDIDAD	58
3.1.3. SITUACIÓN DE INDICIOS MINEROS Y ANOMALÍAS DE CAMPO POTENCIAL	62
3.2. IMÁGENES RADIOMÉTRICAS (POTASIO, TORIO Y URANIO).....	64
3.2.1. POTASIO.....	64
3.2.2. TORIO	66
3.2.3. URANIO	68
3.2.4. MAPA RADIOMÉTRICO TERNARIO	70
3.2.5. UBICACIÓN DE INDICIOS MINEROS Y ANOMALÍAS RADIOMÉTRICAS DE DETALLE	73
3.3. MODELOS DE CARTOGRAFÍAS GEOFÍSICAS.....	75
3.3.1. INTRODUCCIÓN	75
3.3.2. CARTOGRAFÍAS PROPUESTAS	75
4. PETROFÍSICA DE DETALLE EN EL SECTOR NORESTE DE LA HOJA 937	81
4.1. INTRODUCCIÓN.....	81
4.2. PETROFÍSICA DE LA ZONA DE LA GALLEGA.....	81

4.2.1. DATOS CARTOGRÁFICOS DE PARTIDA.....	81
4.2.2. DENSIDAD Y SUSCEPTIBILIDAD.....	83
4.2.3. RADIOMETRÍA GAMMA NATURAL	89
4.2.4. PERFILES RADIOMÉTRICOS DE REGISTRO CONTINUO AL SUELO	93
5. RESUMEN Y CONCLUSIONES	96
5.1. METODOLOGÍA DEL MUESTREO Y ANÁLISIS PETROFÍSICO GENERAL	96
5.2. RESULTADOS PETROFÍSICOS A NIVEL REGIONAL Y LOCAL	98
5.3. INTERPRETACIÓN GEOLÓGICA INTEGRADA DE IMÁGENES GRAVIMÉTRICAS, MAGNÉTICAS Y RADIOMÉTRICAS	103
5.4. UBICACIÓN DE LOS INDICIOS MINEROS RESPECTO A LAS ANOMALÍAS GEOFÍSICAS DE DETALLE.....	105
5.5. CARTOGRAFÍAS GRAVIMÉTRICAS, MAGNÉTICAS Y RADIOMÉTRICAS PARA EL ANÁLISIS MULTIDISCIPLINAR DE ÁREAS DE INTERÉS	106
6. REFERENCIAS	108
7. ANEXOS.....	110
7.1. PARÁMETROS. INSTRUMENTACIÓN.....	110
7.2. FICHERO DE RESULTADOS: PETROFÍSICA_TOTAL .XLS.....	112
7.2.1. VOLCANITAS BÁSICAS	113
7.2.2. VOLCANITAS ÁCIDAS	116
7.2.3. ARENISCAS Y ROCAS METAMÓRFICAS.....	122
7.2.4. ROCAS PLUTÓNICAS.....	127
7.3. MAGNETIZACIÓN REMANENTE DE ROCAS DEL DOMINIO NOROCCIDENTAL DE LA FAJA PIRÍTICA.....	128
7.3.1. ROCAS VOLCÁNICAS.....	128
7.3.2. ROCAS METASEDIMENTARIAS Y METAMÓRFICAS	130
7.4. COMUNICACIONES PRESENTADAS A LA 67ª CONFERENCIA DE LA EAGE (MADRID, 2005)	132

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. A) Mapa de situación de la zona de estudio. B) Unidades tectonoestratigráficas del Dominio Noroccidental de la Faja Pirítica. Coordenadas UTM en m, huso 29.....	9
Figura 2. Susceptibilidad de rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas (Clark, 1997).....	12
Figura 3. Rangos usuales del parámetro de Koenisberger Q en rocas ígneas y metasedimentarias (Clark, 1997).....	14
Figura 4. Contenidos en K, U, Th de rocas ígneas según el tipo de evolución magmática (Dickson, 1997).....	14
Figura 5. Diagrama K-Th obtenido in-situ con espectrómetro portátil (Shives et al, 1997).....	14
Figura 6. Muestra regional: susceptibilidad de 632 muestras sobre mapa magnético reducido al polo (Incluye 255 datos de 1995-1996).....	18
Figura 7. Muestra regional: densidad de 632 muestras sobre mapa de anomalías de Bouguer (Incluye 255 datos de 1995-1996).....	19
Figura 8. Muestra regional: contenidos de potasio en tierra (Espectrómetro de rayos gamma GR-320) de 383 muestras sobre imagen de potasio aéreo.....	20
Figura 9. Diagrama de flujo de datos de petrofísica con indicación de la instrumentación usada..	23
Figura 10. Diagrama densidad-susceptibilidad de 632 muestras del Dominio Noroccidental de la Faja Pirítica.....	26
Figura 11. Histogramas de densidad, susceptibilidad y diagrama d-k de las rocas volcánicas básicas (147 muestras).....	29
Figura 12. Histogramas de K-U-Th las rocas volcánicas básicas (Espectrómetro GR-320: mediciones "in situ". 85 muestras).....	30
Figura 13. Diagramas K-Th y U-Th de las rocas volcánicas básicas (Espectrómetro GR-320: mediciones "in situ". 85 muestras).....	31
Figura 14. Histogramas de densidad, susceptibilidad y diagrama d-k de las rocas volcánicas ácidas, tobas y jaspes (239 muestras).....	38
Figura 15. Histogramas de K-U-Th las rocas volcánicas ácidas, tobas y jaspes (Espectrómetro GR-320: mediciones "in situ". 154 muestras).....	39
Figura 16. Diagramas K-Th y U-Th de las rocas volcánicas ácidas, tobas y jaspes (Espectrómetro GR-320: mediciones "in situ". 154 muestras).....	40
Figura 17. Histogramas de densidad, susceptibilidad y diagrama d-k de areniscas, pizarras y esquistos (209 muestras).....	47
Figura 18. Histogramas de K-U-Th areniscas, pizarras y esquistos (Espectrómetro GR-320: mediciones "in situ". 124 muestras).....	48

Figura 19. Diagramas K-Th y U-Th de areniscas, pizarras y esquistos (Espectrómetro GR-320: mediciones “in situ”. 124 muestras)	49
Figura 20. Mapa de anomalías de Bouguer ($d=2.6 \text{ g/cm}^3$).....	53
Figura 21. Campo magnético total reducido al polo.....	54
Figura 22. Mapa de anomalías de Bouguer ($d=2.6 \text{ g/cm}^3$). Anomalía residual	57
Figura 23. Campo magnético total. Soluciones de Euler (índice 1).....	59
Figura 24. Anomalías de Bouguer (Mapa residual $d=2.6 \text{ g/cm}^3$). Soluciones de Euler (índice 1) ...	61
Figura 25. Mapa de potasio	65
Figura 26. Mapa de torio	67
Figura 27. Mapa de uranio	69
Figura 28. Mapa radiométrico ternario	71
Figura 29. Mapa de anomalías de Bouguer ($d=2.6 \text{ g/cm}^3$). Derivada vertical de la Anomalía residual	78
Figura 30. Derivada vertical del Campo magnético total reducido al polo	79
Figura 31. Mapa de máximos radiométricos ternarios.....	80
Figura 32. Situación del área de La Gallega sobre las cartografías geológicas de referencia	82
Figura 33. Posición de muestras de petrofísica sobre síntesis geológicas de La Gallega.....	84
Figura 34. Diagrama d-k de las rocas del área de La Gallega.....	86
Figura 35. Mapa magnético reducido al polo del área de La Gallega.....	87
Figura 36. Mapa gravimétrico residual del área de La Gallega (Fuente: Navan Resources Huelva).....	88
Figura 37. Histogramas de K y Th y diagrama K-Th de las rocas del área de La Gallega (Espectrómetro GR-320: mediciones “in situ”. 83 muestras).....	90
Figura 38. Posición de muestras del área de La Gallega: datos de potasio (espectrómetro GR-320: mediciones “in situ”) sobre imagen de potasio aérea (vuelo de 1997).	92
Figura 39. Posición de muestras del área de La Gallega: datos de potasio (espectrómetro GR-320: mediciones “in situ”) sobre imagen de potasio “de paseo”.	94
Figura 40. Diagrama densidad– susceptibilidad global (715 muestras)	100
Figura 41. Diagrama torio–potasio global de las volcanitas (317 muestras).....	100
Figura 42. Diagrama parámetro Koenigsberger – susceptibilidad de rocas del Dominio Noroccidental de la Faja Pirítica Española (185 muestras)	131

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla I. Susceptibilidad de rocas comunes según varias fuentes	10
Tabla II. Densidad de algunos minerales (g/cm^3 . Schön, 1995).....	13
Tabla III. Densidad de rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias (g/cm^3 . Schön, 1995)	13
Tabla IV. Contenidos en K (%), U (ppm), y Th (ppm) de rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias (Clark 1997).....	15
Tabla V. Muestra Regional: Litologías y distribución de las 632 muestras de petrofísica con medida de densidad-susceptibilidad. Dominio Noroccidental de la Faja Piritica.	21
Tabla VI. Resumen del volumen de datos del muestreo petrofísico regional y de detalle.....	22
Tabla VII. Densidad y susceptibilidad de las volcanitas. Dominio Noroccidental de la Faja Piritica	45
Tabla VIII. Radiometría en tierra (%K, ppmU, ppmTh) de las muestras de volcanitas. Dominio Noroccidental de la Faja Piritica.....	45
Tabla IX. Densidad y susceptibilidad de las rocas sedimentarias y metamórficas. Dominio Noroccidental de la Faja Piritica.....	51
Tabla X. Radiometría en tierra (%K, ppmU, ppmTh) de las muestras de volcanitas. Dominio Noroccidental de la Faja Piritica.....	51
Tabla XI. Situación radiométrica de indicios y minas de las hojas 936 y 937.....	74
Tabla XII Promedios y desviaciones totales (μ_b , s_b), de fondo (μ_f , s_f) y puntos de corte máximo y mínimo de la zona de estudio (a una, dos y tres desviaciones típicas s_f)	77
Tabla XIII. Densidad y susceptibilidad de 83 muestras de la zona de La Gallega (subíndice g) frente a datos regionales (subíndice r).....	83
Tabla XIV. Radiometría en tierra (%K, ppmU, ppmTh) de 83 muestras de la zona de La Gallega (subíndice g) frente a datos regionales (subíndice r).....	89
Tabla XV. Modas de susceptibilidad magnética k ($\text{ucgs} \cdot 10^6$), densidad aparente d (g/cm^3), y contenido radiométrico de K (%), U (ppm) and Th (ppm). Q_{mn} : parámetro Koenigsberger (mediana).	98

0. OBJETIVOS

El objetivo de este trabajo consiste en primer lugar en *la optimización de la interpretación geológica* de campañas de geofísica aeroportada de alta resolución, magnéticas y radiométricas, y de gravimetría terrestre, tanto a escala regional como de detalle, en el Dominio Noroccidental de la Faja Pirítica Española. Ello requiere la realización de estudios petrofísicos, de determinación de ciertas propiedades físicas de las rocas, justamente aquéllas que con sus contrastes naturales producen las anomalías registradas por los sensores magnéticos, radiométricos y gravimétricos. Estas propiedades son el peso específico, la susceptibilidad magnética, la magnetización remanente, y la radiación gamma natural (ppmU-ppmTh-%K) en tierra.

Conocidos estos parámetros se dispondrá de una base firme para el análisis de la expresión geofísica de los contextos a los que se asocian determinados tipos de recursos minerales en la zona de estudio. Se utilizarán metodologías en las que toda la información petrofísica obtenida sobre el terreno quede integrada dentro de técnicas adecuadas de tratamiento y análisis de las imágenes radiométricas y de campo potencial, para explotar al máximo la interpretación de tales imágenes.

En una segunda fase se pretende obtener modelos de cartografías geofísicas con criterios de prospectividad minera. Estos modelos tendrán en cuenta posibles guías de investigación minera eventualmente detectadas durante la primera fase. Los modelos cartográficos se integrarán con los de las cartografías del resto de los datos multidisciplinarios del Proyecto de exploración regional y delimitación de zonas anómalas en la Faja Pirítica, Proyecto donde se enmarcan los trabajos geofísicos que se describen aquí. Debe recordarse que el tratamiento, análisis y preparación de cartografías geofísicas (imágenes residuales de máximo y mínimo, mapas de gradientes, de ratios, etc) derivadas de un vuelo magnético y radiométrico de alta resolución como el de 1997, constituyen un input muy bien adaptado a modelizaciones multiparámetricas, como el análisis neuronal o tratamientos de base estadística estandarizados en SIG, que integren información muy diversa para la búsqueda de yacimientos (cartografías geológicas a diversas escalas, mapas de indicios y de alteraciones, imágenes procedentes de tratamientos de datos geoquímicos, de teledetección, etc).

1. INTRODUCCIÓN: JUSTIFICACIÓN Y MEDIOS

Es cada día mayor la importancia que se concede a la realización de estudios petrofísicos para la interpretación geológica de campañas de geofísica aeroportada, magnéticas y radiométricas, y de gravimetría terrestre. Por ello, aunque los trabajos petrofísicos son costosos, estos estudios se están imponiendo como etapa previa a la interpretación geofísica aeroportada y en tierra, tanto regional como de detalle.

Existen un cierto número de este tipo de trabajos aeroportados y de gravimetría terrestre en la Faja Pirítica a disposición del IGME, como:

*El vuelo magnético y radiométrico de alta resolución realizado por el IGME en 1997 para la prospección geológico-minera de la Faja Pirítica y del borde SO de la Zona de Ossa-Morena.

*La gravimetría estructural con una densidad de 4 puntos por km², efectuada por el IGME (1992).

*Diversas gravimetrías mineras recopiladas por el IGME realizadas en los últimos 20 años.

Estos trabajos justifican sobradamente que se haya abordado el estudio petrofísico, de determinación de densidades y susceptibilidades magnéticas (acompañada con datos adicionales de remanencia) sobre muestras de roca, y medición in situ de radiación gamma natural con

espectrómetro de mano, de las rocas del Dominio Noroccidental de la Faja Pirítica, cuyos resultados se presentan aquí. El ámbito estudiado es el comprendido entre las coordenadas X= 638000-690000, Y=4165000-4190000 (coordendas UTM en metros, huso 29), que abarca las hojas del M.T.N.a escala 1:50.000 n°s 936, 937, así como el borde Norte de las hojas 958 y 959 (**figura 1**).

Por otro lado, una de las líneas de actividad más importante del Área de Geofísica del IGME es la recopilación y construcción de bases de datos de geofísica aeroportada y gravimetría, el desarrollo metodológico para el tratamiento y el análisis de este tipo de datos, así como la caracterización petrofísica de los grupos rocosos estudiados, necesaria para su interpretación. Esta actividad ha quedado puesta de manifiesto en numerosos informes y publicaciones, muchos relativos a la Faja Pirítica, realizados en los últimos diez años por técnicos e investigadores del Área.

Las mediciones se han llevado a cabo en los laboratorios del Instituto Geológico y Minero de España y el Centro de paleomagnetismo de la FC Físicas de la UCM, comprendiendo la obtención de las siguientes propiedades físicas de las rocas:

- 1) El peso específico (roca partida) y la susceptibilidad magnética aparente (polvo);
- 2) La concentración espectrométrica en tierra obtenida con espectrómetro portátil (radiación gamma natural al suelo, in-situ: %K, ppmU, ppmTh). También se han realizado medidas con el espectrómetro de mano en modo de operación de registro continuo o "de paseo"; y
- 3) La magnetización remanente en roca no orientada.

Para el tratamiento de la información se ha contado con los medios informáticos de la Unidad de paleomagnetismo citada, y sobre todo, de los del Área de Geofísica del IGME, disponiéndose también de las bases de datos generales de éste y de su centro bibliográfico y de documentación.

2. PETROFÍSICA REGIONAL DE ROCAS DEL DOMINIO NOROCCIDENTAL DE LA FAJA PIRÍTICA

2.1. ANTECEDENTES

SUSCEPTIBILIDAD MAGNÉTICA. MINERALES FERROMAGNÉTICOS

La capacidad de las rocas para magnetizarse, expresada por su susceptibilidad magnética k (razón adimensional entre la magnetización inducida J_i y el campo inductor terrestre H_t : $k=J_i/H_t$, $H_t \approx 43.000$ nT en España), resulta de la interacción de los momentos magnéticos atómicos, orbitales y de spin, característicos de las redes cristalinas minerales con el campo H_t . Son diamagnéticos los minerales con $k < 0$ (momentos magnéticos orbitales opuestos a H_t) y muy pequeña ($\approx 10^{-6}$ unidades cgs, ucgs), como el cuarzo, los feldespatos y la calcita. Son paramagnéticos los minerales que contienen Fe y otros elementos de transición (biotita, anfíboles, piroxenos, olivinos), en cuyas redes los momentos de spin de electrones desapareados interaccionan débilmente con H_t , de modo que su k es pequeña ($\approx 10^{-4}$ ucgs), pero suficiente para producir anomalías detectables. Por último, en los minerales ferromagnéticos (sensu lato) la interacción citada es fuerte, con lo que su susceptibilidad k alcanza valores elevados (10^{-4} - 10 ucgs). Además, los minerales ferromagnéticos son el origen de la magnetización remanente natural J_{nrm} de las rocas, cuyo análisis constituye la base para los estudios de paleomagnetismo (se denomina parámetro de Koenisgberger Q ó Q_n a la razón J_{nrm}/J_i). Los minerales ferromagnéticos principales corresponden a las soluciones ternarias Fe-Ti-O; las soluciones sólidas preferentes son las de las titanomagnetitas TM (ulvoespinela-magnetita) y titanohematites TH (ilmenita-hematites).

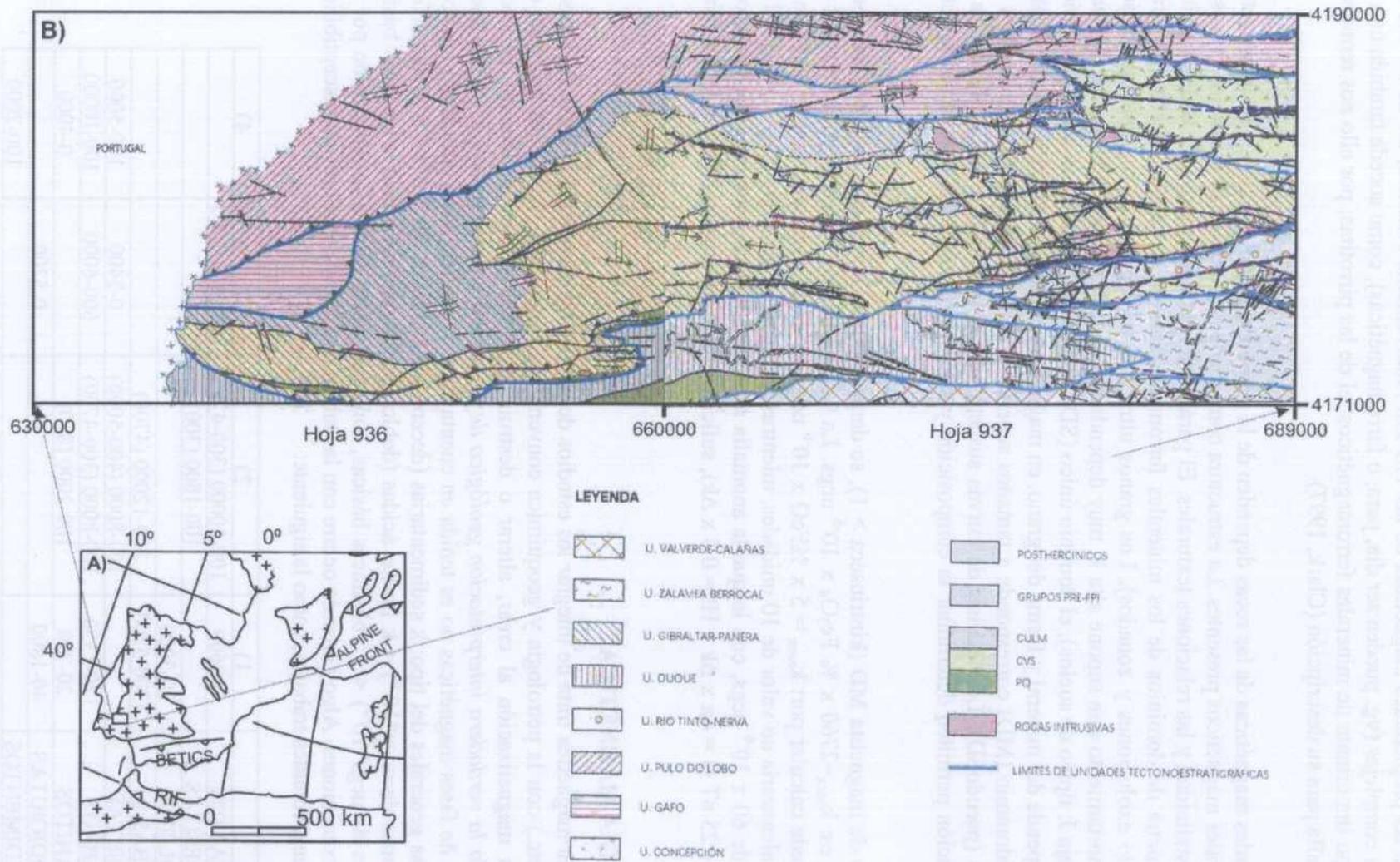


Figura 1. A) Mapa de situación de la zona de estudio.

B) Unidades tectonoestratigráficas del Dominio Noroccidental de la Faja Pirítica. Coordenadas UTM en m, huso 29.

Mientras que las propiedades magnéticas de las TM son relativamente sencillas, las de las TH son bastante más complejas (vg. pueden ser dia, para, o ferromagnéticas), como sucede también con las del otro grupo importante de minerales ferromagnéticos, el de las pirrotitas; por ello nos remitimos a la bibliografía para su descripción (Clark, 1997).

Las propiedades magnéticas de las rocas dependen de la proporción, composición, y de la estructura de los minerales magnéticos presentes. La estructura comprende el tamaño y forma de los granos, el grado de cristalinidad y las relaciones texturales. El parámetro más importante para la definición de la microestructura de dominios de los minerales ferromagnéticos es el tamaño efectivo de grano (considerando exoluciones y zonados). Los granos ultrafinos se denominan superparamagnéticos (SPM; comportamiento que supone alta k, muy dependiente de la frecuencia a la que se efectúa la medida, y baja J: típico de suelos), el dominio único (SD) se presenta en tamaños submicrométricos (el límite depende del mineral y forma del grano, en magnetitas ocurre entre 0.05 y 1 μm); mientras que el multidominio (MD) corresponde a tamaños superiores a 20 μm , quedando entre ambos los granos PSD (pseudoSD). Los análisis de curvas susceptibilidad-temperatura k-T, y de curvas de demagnetización permiten determinar la composición y microestructura de la fase ferromagnética presente.

Para el caso de magnetita MD (kintrínseca > 1), se demuestra que la relación volumétrica teórica aproximada es: $k_{\text{roca}} = 2760 \times \% \text{Fe}_3\text{O}_4 \times 10^{-6}$ ucgs. La susceptibilidad paramagnética de rocas sin Fe_3O_4 se puede calcular por: $k_{\text{roca}} = 5 \times \% \text{FeO} \times 10^{-6}$ ucgs, es decir un granito (sin Fe_3O_4) con un 2% de FeO alcanzaría un valor de 10 unidades, mientras que para un gabro (sin Fe_3O_4) con el 12% de Fe sería de 60×10^{-6} ucgs, con lo que la anomalía máxima sobre un contacto entre tales rocas sería de unos 25 nT ($J = 4\pi \times \Delta k \times Ht = 0.5 \times \Delta k$), suficiente para apreciarse en una zona de campo tranquilo.

PETROLOGÍA MAGNÉTICA

La petrología magnética trata de integrar los estudios de petrofísica magnética (determinaciones de k, Q, k-T, etc.) con la petrología y geoquímica convencionales, para así definir los procesos que controlan la magnetización al crear, alterar o destruir los minerales magnéticos de las rocas, *consiguiendo la verdadera interpretación geológica de la campaña aeromagnética*. Puesto que la distribución de fases magnéticas no es tenida en cuenta en las clasificaciones petrológicas, sucede que las reglas generales del tipo: k sedimentarias (decenas de unidades $\text{cgs} \times 10^{-6}$) $<$ k metamórficas (pocas centenas de $\text{ucgs} \times 10^{-6}$) $<$ k ígneas ácidas (doble que las metamórficas) $<$ k ígneas básicas (varios miles de $\text{ucgs} \times 10^{-6}$) $<$ k volcánicas básicas, son poco útiles para la interpretación por sus numerosas excepciones. Algo parecido ocurre con las tablas de rangos de valores de susceptibilidad publicados en diferentes trabajos, como la siguiente:

	1)	2)	3)	4)
BASALTOS	0-9600	100-10000 (300-4700)	100...300-2000	
ANDESITAS		100-1800 (300)		
RIOLITAS	20-3000			
DIABASAS	1300-5200	200-12000 (4700)		
DIORITAS		100-8000 (400-5000)	0-3400	100-5000
GABROS	120-2350	100-8000 (300-4700)	600-6000	300-10000
GRANITOS	20-750	100-2000 (800)		0-4000
GRANODIORITAS	40-1800		0-5200	
METASEDIMENTOS				100-2000

Tabla I. Susceptibilidad de rocas comunes según varias fuentes

Fuentes usadas en la tabla I: 1) Mooney y Bleifuss, 1952; 2) Urquhart y Strangway, 1985. Los valores entre paréntesis indican modas; 3) Spector *et al*, 1985; 4) Fuentes varias; tomado de Hinze, 1990. Datos en $\text{ucgs} \times 10^6$.

En la **tabla I** se observa la gran variabilidad de los valores de susceptibilidad, de tal forma que casi para cualquier tipo de roca es posible encontrar en la bibliografía valores de susceptibilidad entre cero y varios miles de unidades; sin embargo, los valores medios estadísticos más comúnmente aceptados son del orden de los citados anteriormente. Los estudios regionales (Henkel, 1991, 1994; Plata *et al*, 1996) ponen de manifiesto las diferentes tendencias estadísticas entre distintos tipos rocosos, y su significación geológica, sobre todo si además de k se determinan otros parámetros (Q , composición), y se relacionan con la densidad de las rocas.

Reuniendo estos estudios, juntos con datos de elaboración propia, Clark (1997) ha preparado las **figuras 2 y 3** de rangos de variación de k y Q por litologías mayores. El importante mensaje adicional (insinuado en la fuente 2 de la tabla anterior) de las **figuras 2 y 3** es la *bimodalidad de susceptibilidad y remanencia característica de un buen número de tipos de rocas*, entre los que se encuentran los grupos ígneos más frecuentes, como granitos-riolitas, y gabros-basaltos/espilitas. Esta heterogeneidad es mayor cuando se comparan datos de diferentes provincias magnéticas, pero también se da a nivel de macizo o cuerpo rocoso, e incluso de afloramiento, hasta tal punto de que en muchas ocasiones, más que el contraste de susceptibilidad medio entre litologías en contacto, lo que destaca es el cambio de facies de las anomalías magnéticas que supone la diferente distribución de las susceptibilidades dentro de cada cuerpo.

En general, la bimodalidad supone la existencia de dos poblaciones en la litología de que se trate: una paramagnética, silicatada (fundamentalmente con Fe^{2+} , aunque también con Fe^{3+}), y otra ferromagnética con contenidos más altos de Fe^{3+} , en buena parte incorporado como Fe_3O_4 . Tanto el conjunto de los minerales máficos, como los óxidos de Fe-Ti y la relación Fe^{3+}/Fe^{2+} , reflejan las condiciones de fugacidad del O_2 (fO_2), o en general la capacidad oxidante del sistema, durante la cristalización y enfriamiento de la roca.

Como resumen de la bibliografía recomendada (especialmente Clark, 1997), cabe señalar que las propiedades magnéticas de las rocas dependen, en última instancia, de la partición del hierro entre fases magnéticas y no magnéticas, reparto que habría que determinar para toda la roca y en cada fase. El estudio de esta partición, dependiente de las condiciones petrogenéticas e historia geológica posterior, es complejo y costoso, por lo que los trabajos de petrología magnética están hoy día en su infancia: el estudio de los procesos que controlan la magnetización al crear, alterar o destruir los minerales magnéticos se basan en análisis petrográficos, termodinámicos, experimentales y de química mineral abiertos a debate. Las contradicciones existentes entre diversos autores pueden deberse a extrapolación y/o generalización de conclusiones a partir de trabajos de carácter local o en los que no se hayan contemplado todos los factores a considerar.

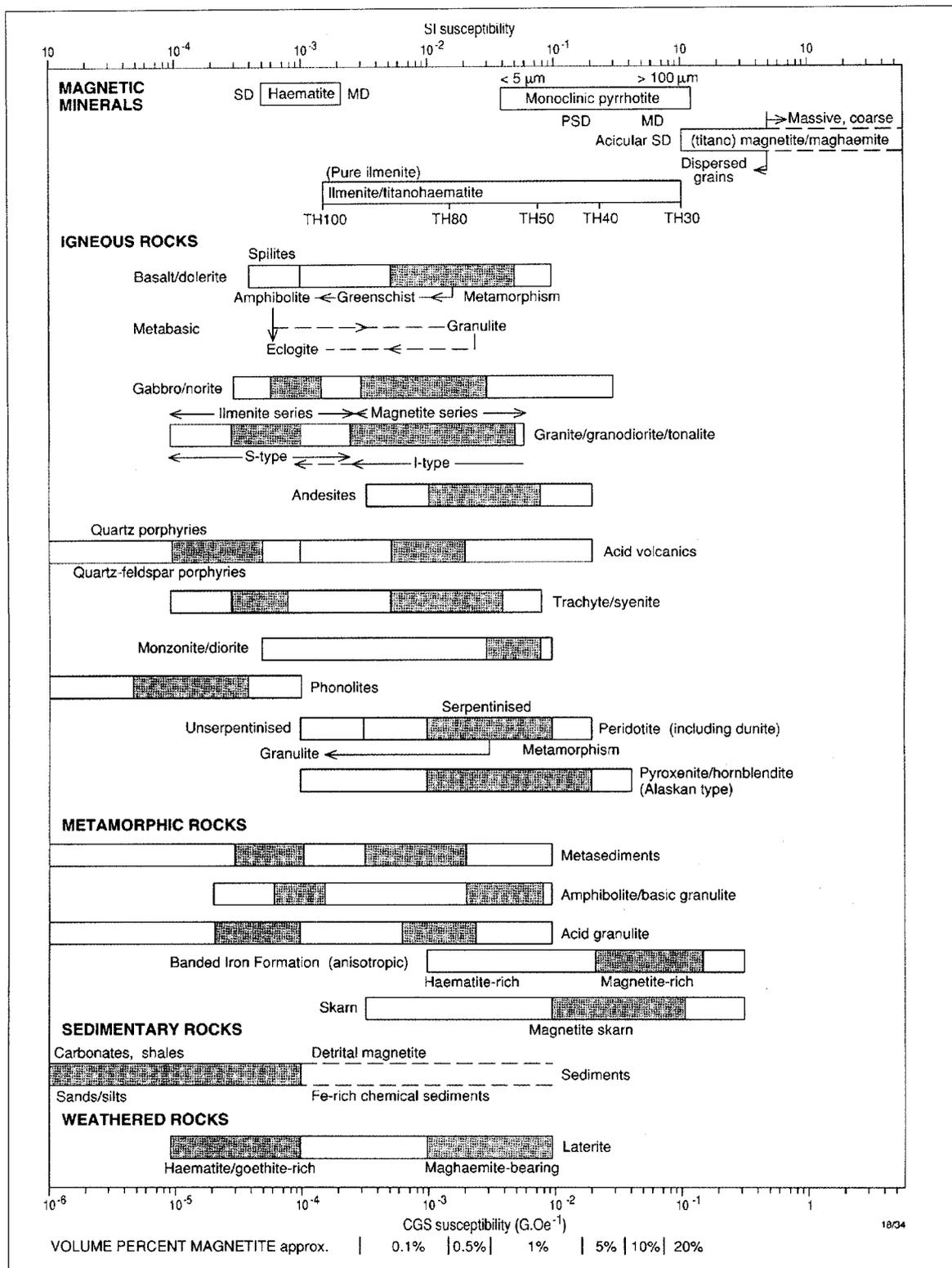


Figura 2. Susceptibilidad de rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas (Clark, 1997)

DENSIDAD DE MINERALES Y ROCAS

La densidad de los minerales depende de su composición y estructura cristalina. De las compilaciones existentes en la literatura se presenta a continuación un resumen de la de Schön:

Albita: 2.60	Anortita: 2.76	Augito: 3.30	Biotita: 2.90	Calcita: 2.71	Clorita: 2.80
Cordierita: 2.51	Cuarzo: 2.64	Diópsido: 3.27	Dolomita: 2.86	Enstatita: 3.21	Epidota: 3.59
Fayalita: 4.39	Hematites: 5.27	Hornblenda: 3.08	Illita: 2.66	Leucito: 2.47	Magnetita: 5.20
Microclino: 2.56	Muscovita: 2.83	Nefelino: 2.62	Ortoclasa: 2.57	Serpentina: 2.6	

Tabla II. Densidad de algunos minerales (g/cm³. Schön, 1995).

La densidad de las rocas depende de su composición mineral y nivel de porosidad/fracturación. Cambios en ambos factores producen rangos de variación como los que se indican a continuación:

Granito: 2.50-2.70	Pizarra: 2.30-2.80	Dolomita: 2.50-2.90
Granodiorita: 2.55-2.75	Cuarcita: 2.55-2.65	Caliza: 2.30-2.90
Diorita: 2.65-2.90	Mármol: 2.55-2.70	Arenisca: 2.0-2.8
Gabro: 2.80-3.10	Filita: 2.55-2.70	Marga: 2.30-2.70
Peridotita: 2.85-3.30	Gneis: 2.50-2.80	Limo: 1.50-2.20
Riolita: 2.20-2.50	Anfibolita: 2.70-3.10	Arena-grava: 1.40-2.30
Basalto: 2.30-3.20	Eclogita: 3.15-3.35	Arcilla: 1.30-2.30

Tabla III. Densidad de rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias (g/cm³. Schön, 1995)

En comparación con los rangos de susceptibilidad del apartado anterior, se observa que los de densidad son mucho menores, tanto en términos absolutos como relativos (no obstante existen rocas como basaltos, areniscas y pizarras que muestran variaciones notables de su peso específico), con mejor correlación con el tipo litológico (v.g, nótese la gradación de densidades en la serie granito-granodiorita-diorita-gabro), mayor homogeneidad en el macizo rocoso (notable diferencia con la susceptibilidad), y con una clara tendencia al aumento con la basicidad de la roca.

RADIATIVIDAD DE MINERALES Y ROCAS

La radiactividad de los minerales y rocas depende de la distribución de los radioisótopos naturales ⁴⁰K, ²³⁵U y ²³⁸U, y ²³²Th en los mismos. El K total, del que el ⁴⁰K representa el 2%, se presenta en micas (moscovita, biotita) y feldespatos (del orden de hasta un 8% en las primeras; hasta un 13% en los segundos); mientras que U y Th, al tratarse de elementos residuales incompatibles son rechazados por las redes de los silicatos más comunes, de manera que son más abundantes en los minerales accesorios de las rocas, a su vez más frecuentes que los minerales propios (uraninita, uranotorita, torianita) de estos elementos. Los contenidos medios de la corteza son: 2.5-3 ppmU, 12-13 ppmTh y 2.4% K (Schön, 1995). Entre los minerales accesorios se podrían citar fosfatos como el apatito, la monacita y xenotima, y sobre todo en silicatos como el circón, la epidota y la allanita; en realidad las tierras raras tampoco se incluyen en las redes de estos fosfatos y silicatos, accesorios de cristalización temprana, de las que también son rechazados, sino más bien en la periferia de sus granos minerales.

Diferentes tipos de roca tienen diferentes contenidos de radioisótopos según su evolución magmática y ciclo geoquímico posterior. En rocas ígneas (**figura 3**), se observan crecimientos de la proporción de K, U y Th con el contenido en SiO₂; mayor en el caso del Th (inicialmente; en los términos más ácidos el Th registra un empobrecimiento relativo), por lo que la relación Th/U (o K/Th) es un índice del grado de diferenciación de asociaciones ígneas. De manera general, los ratios Th/U, K/U, y K/Th

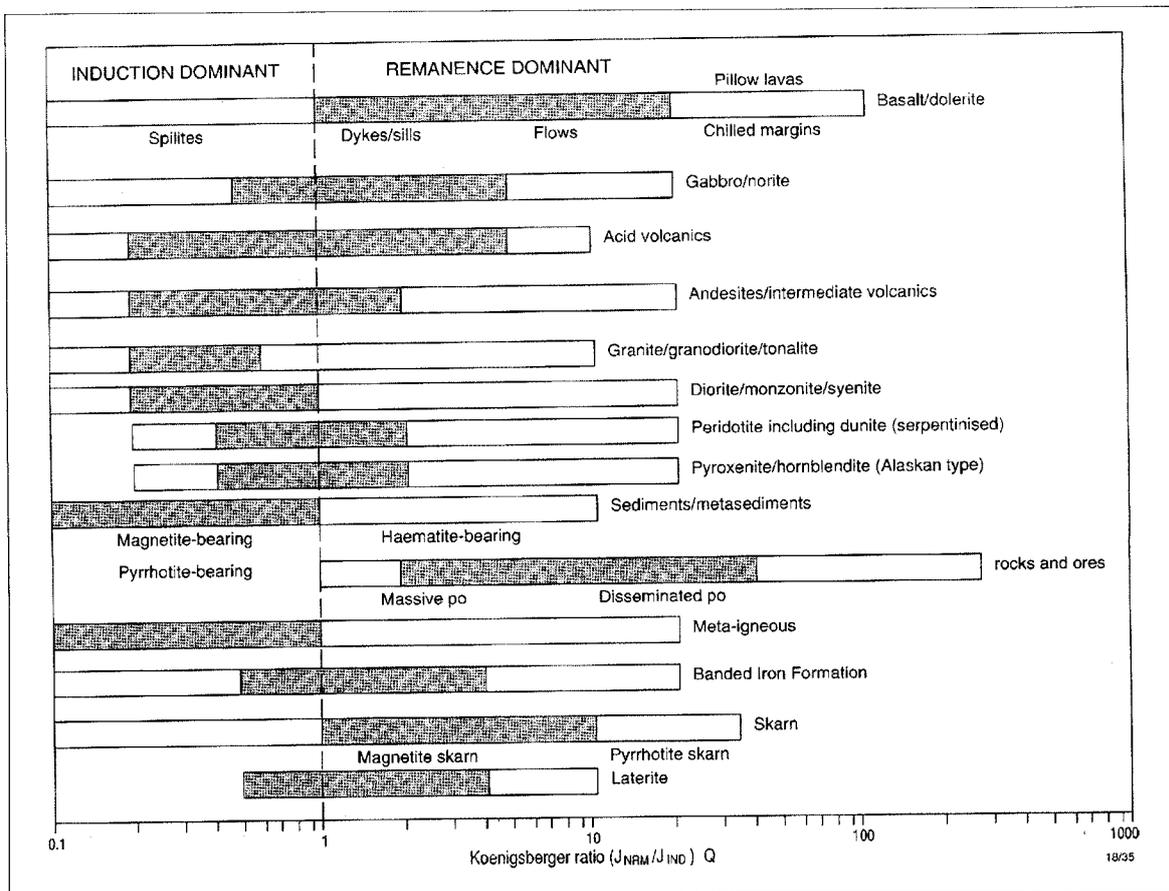


Figura 3. Rangos usuales del parámetro de Koenigsberger Q en rocas ígneas y metasedimentarias (Clark, 1997).

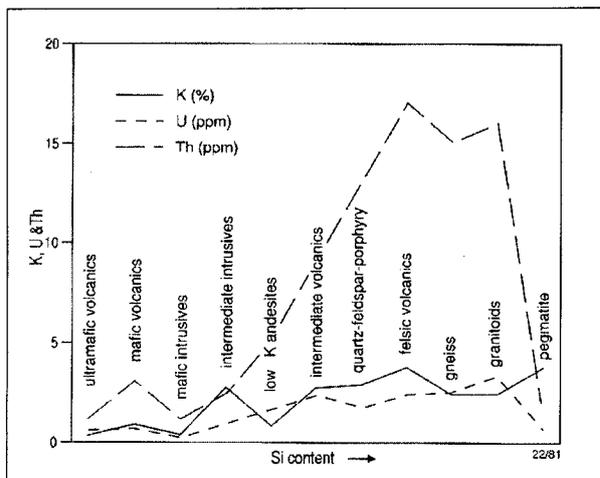


Figura 4. Contenidos en K, U, Th de rocas ígneas según el tipo de evolución magmática (Dickson, 1997).

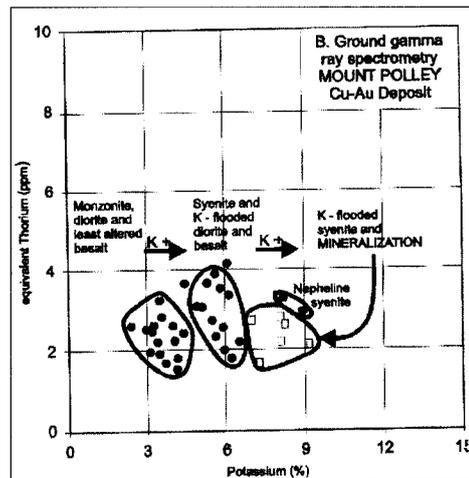


Figura 5. Diagrama K-Th obtenido in - situ con espectrómetro portátil (Shives et al, 1997)

sirven para discriminar las condiciones genéticas y ambiente geotectónico respectivos de rocas intrusivas y extrusivas.

Los diagramas bivariantes de contenidos en radioelementos son útiles para la discriminación de conjuntos de ellas (**figura 5**, tomada de Shives *et al*, 1997; datos registrados con un espectrómetro terrestre de mano para medición in situ). Como ocurre con la densidad y la susceptibilidad, la amplitud de los rangos de variación hace que una determinada proporción de radioisótopos no identifique unívocamente un tipo litológico (**tabla IV**):

	K _{min}	K _{max}	K _{media}	U _{min}	U _{max}	U _{media}	Th _{min}	Th _{max}	Th _{media}
Granitoides	0.3	5.5	3.4	0.4	7.8	3.3	2.3	45	16
Volcanitas ácidas	2.0	4.4	3.7	1.4	13	3.3	13	28	17
Ígneas Intermedias	0.7	4.1	2.7	0.5	3.4	1.7	1.2	12	5.7
Básicas	0.3	1.3	0.9	0.3	1.3	0.7	2.0	5.0	3.0
Ultrabásicas	0.2	0.9	0.4	0.3	0.9	0.6	0.0	4.0	1.2
Pizarras (Arcaico)	0.4	1.6	0.9	0.3	1.3	0.9	1.0	5.0	2.7
Pizarras	0.1	4.0	2.6	1.6	3.8	2.6	10	55	19
Areniscas	0.0	5.5	1.8	0.7	5.1	2.3	4.0	22	12
Carbonatos	0.0	0.5	0.2	0.4	2.9	1.6	0.0	2.9	1.4
Gneises	2.4	3.8	2.4	2.1	3.6	2.5	18	55	15

Tabla IV. Contenidos en K (%), U (ppm), y Th (ppm) de rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias (Clark 1997)

Si observamos la **tabla IV**, v.g., en el extremo alto, una roca con contenidos de 3 ppmU, 14 ppmTh y 2.5% K podría ser cualquiera, ya ígnea ácida, ya metamórfica con un protolito ácido (pizarra, esquisto, gneis; el metamorfismo no suele alterar el contenido en radioelementos); en el extremo bajo, una con U <1 ppm, Th <5 ppm y K < 1%, podría ser cualquier cosa menos una intrusiva félsica o una pizarra, como por ejemplo una roca ígnea intermedio-básica, una arenisca más o menos madura (su radiactividad depende del tipo de fuente del sedimento y del porcentaje de fracción pelítica) o una caliza. No obstante, en campañas regionales, rocas diferentes muestran firmas radiométricas características, *de forma que hoy se admite que la radiometría aeroportada ofrece la imagen geofísica de más calidad como instrumento de correlación con la cartografía geológica de superficie*, especialmente si se trata de vuelos de alta resolución.

CAMPAÑAS GEOFÍSICAS UTILIZADAS

Las imágenes geofísicas básicas, magnéticas, gravimétricas y radiométricas, provienen de mallados de los datos registrados en las siguientes campañas geofísicas:

*Vuelo de alta resolución realizado por el IGME en 1997 con datos adquiridos a 100 m de altura en líneas N-S separadas 250 m (Bates y García Lobón, 1998): mallas magnéticas y radiométricas de 100x100 m de celda. Este vuelo se usa en las descripciones del apartado 2.3, en la interpretación regional y en los modelos cartográficos del capítulo 3.

*Gravimetría regional del IGME (cuatro puntos cada km²), con puntos arealmente equidistribuidos (1992): mallas gravimétricas de 500x500 m de celda.

*Datos originales (perfiles N-S a 200 m, con estaciones cada 50 m) y procesados de las gravimetrías mineras disponibles en la hoja 1:25.000 de Valdelamusa (937-II).

2.2. METODOLOGÍA

CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA DE PARTIDA. CODIFICACIÓN DE UNIDADES

La base de datos geológica de partida está constituida por las coberturas digitales correspondientes a la cartografías 1:50.000 y 1:25.000 de la Faja Pirítica realizadas, respectivamente, por el IGME (revisión de 1994-95), y por la Junta de Andalucía (*Proyecto de Investigación Geológica y Cartografía Básica en la Faja Pirítica y Áreas Aledañas. 1998-2000*). Se han codificado las principales litologías y unidades litoestratigráficas de estas cartografías, de modo que un código litológico y otro de formación se incorporan al registro de cada muestra en el fichero maestro de resultados de petrofísica.

Esta cartografía es importante porque facilita, en primer lugar, el análisis inicial del magnetismo y radiometría aeroportados, análisis que se efectúa con la cartografía geológica digital (o una síntesis de la misma) superpuesta sobre las imágenes a color de uno y otra, respectivamente. Esta tarea es imprescindible para la definición de los recorridos de toma de muestras en campo. Esta cartografía fundamental se incorpora en numerosas ocasiones como base de las figuras y mapas de este informe (v.g., posición de muestras, etc). En segundo lugar, se trata de un mapa también necesario en las sucesivas fases del trabajo, relativas al análisis de los datos de petrofísica que se vayan obteniendo, a medida que es necesario ir verificando la magnitud de los parámetros petrofísicos registrados frente a la intensidad de las anomalías en los mapas aeroportados, lo que sirve para controlar la bondad del muestreo y/o la necesidad de tomar muestras adicionales. Por último, casi resulta innecesario señalar la utilidad de la síntesis en la interpretación más avanzada de los resultados del vuelo, pudiendo ser usada de manera inmediata, v.g., en la confección de modelos cuantitativos en dos o tres dimensiones, o en interpretaciones cualitativas de cualquier imagen geofísica procesada.

RECOGIDA DE MUESTRAS. UNIDADES REPRESENTADAS

Durante los años 2002-2004 se recogieron 460 muestras de petrofísica destinadas a facilitar la interpretación del vuelo de alta resolución de la Faja de 1997. Las muestras se han recogido en el ámbito de las Hojas 1:50.000 nº 936 y 937, incluidas en el Dominio Noroccidental de Faja Pirítica Española en una superficie aproximada de unos 700 km². El muestreo comprende una parte regional (con 377 datos) y otra de detalle (con 83 datos de la zona de La Gallega; ver capítulo 4 más abajo). A los resultados de la muestra regional de esta campaña de 2002-2004 se le han añadido 255 datos de densidad-susceptibilidad correspondientes al muestreo del proyecto de 1994-95 (Plata, J. L., García, J. L., Rubio, F. M., y Navas, F. J. 1996. *Proyecto integrado de estudio geológico y metalogenético de la Faja Pirítica*. Informes de Geofísica de 1995 y 1996. Fondo documental del IGME, documento 40445), de modo que esta muestra regional comprende un total de 632 rocas.

Tras el análisis previo de las anomalías geofísicas en gabinete, como se acaba de describir, el muestreo en campo se ha realizado con ayuda del mapa topográfico 1:50.000, sobre el que se han contorneado a mano tanto los contactos de la síntesis geológica, como el perfil de las principales anomalías geofísicas para marcar áreas de visita preferente, aunque por supuesto, también se han muestreado las zonas no anómalas de las distintas unidades geológicas. De esta manera se ha evaluado el interés petrofísico, así como la accesibilidad, de cada itinerario.

Una primera fase de toma de datos, que se extendió por toda la zona de estudio, ya proporcionó resultados que permitían explicar la mayor parte de las anomalías geofísicas de campo potencial. Para el muestreo se utilizó como instrumento auxiliar de ayuda en campo un medidor portátil de susceptibilidades (KT-5). En campo se ha recogido una cantidad de unos 3 kg de roca por muestra, lo más fresca posible. Adicionalmente, se han buscado frentes lisos y de geometría horizontal (geometría 2π), según los requerimientos para que la medida con el espectrómetro de radiación

gamma natural de mano tuviera un valor geoquímico, aunque lógicamente esto no ha sido siempre posible.

De cada muestra se ha anotado en campo su posición sobre el mapa topográfico, así como su número de identificación, coordenadas X, Y (GPS), fecha, litología con su código de dos dígitos previamente establecido (**tabla V**), y código de unidad o formación muestreada según la cartografía geológica de referencia mencionada, más los comentarios que se considerasen pertinentes y una serie de observaciones sobre las condiciones del afloramiento, sobre todo si se realizaban medidas de radiación en el mismo (“in-situ”).

La nomenclatura de cada uno de los tipos de rocas se ajusta a la usada en la cartografía de referencia, verificada mediante examen de visu en afloramiento y muestra de mano, y estudio mediante lámina delgada (433 láminas, más 108 probetas pulidas entre las 459 anteriores). La labor de clasificación se ve muy facilitada por los mismos resultados petrofísicos. Obsérvese que se han usado “nombres amplios”, sin apellidos de textura o composición, tratando de obtener propiedades por grupos de rocas de las que se indican los datos petrográficos generales, pero no fichas de clasificación sistemática de cada una de ellas. La **tabla V** contiene la lista de litologías, sus códigos, el número de muestras por litología, y su distribución por unidad tectonoestratigráfica (**figura 1**) según los nombres generalmente aceptados y usados por los autores de las cartografías de referencia.

En las **figuras 6, 7 y 8** se representa la situación de las muestras sobre el mapa de anomalías magnéticas, de Bouguer, y de potasio, con clasificación según su valor de propiedad respectiva.

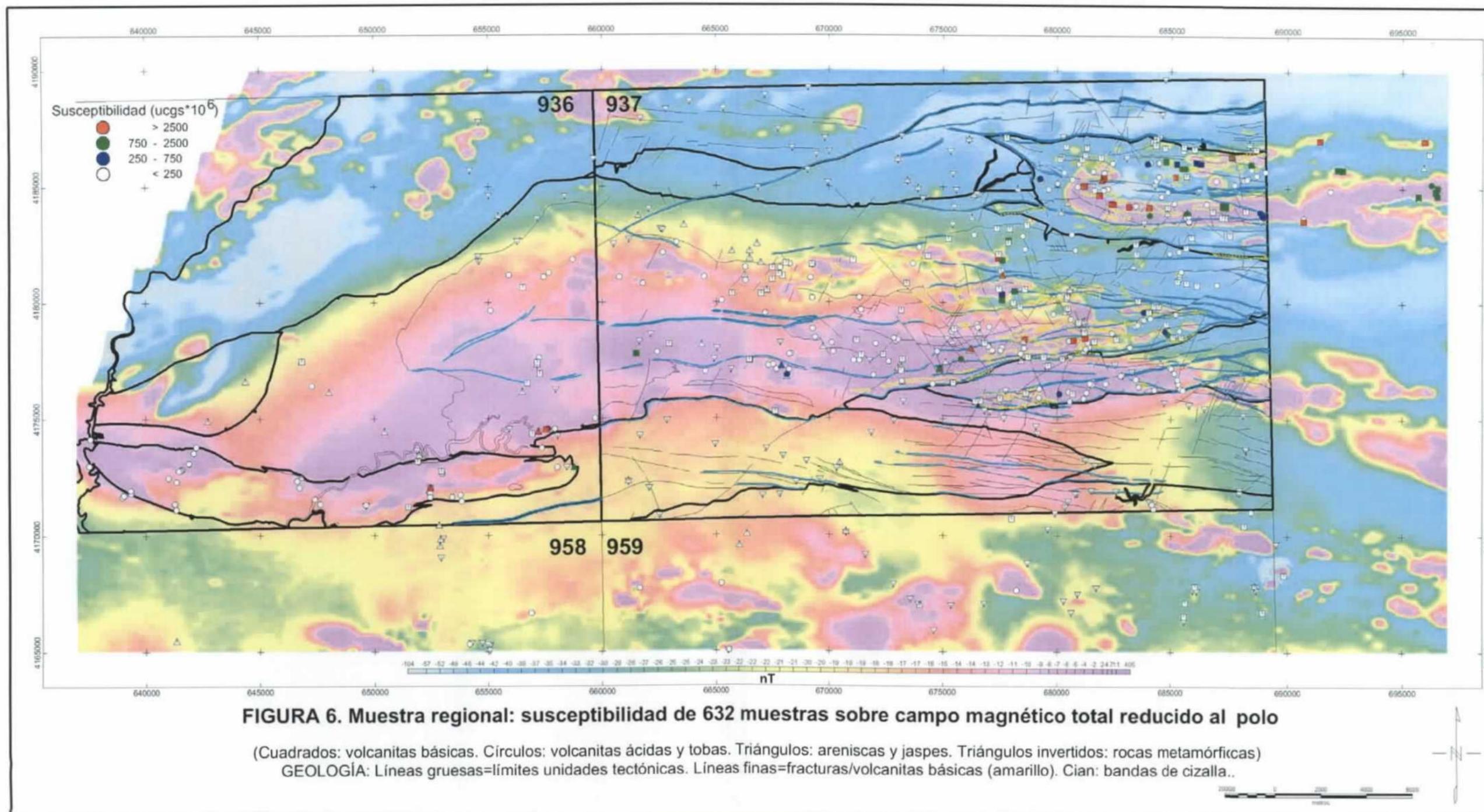
De las unidades sedimentarias, metamórficas y volcano-sedimentarias se ha procurado obtener al menos una docena de muestras, aunque esto no ha sido siempre posible. Por lo que se refiere a los datos regionales, puede indicarse que:

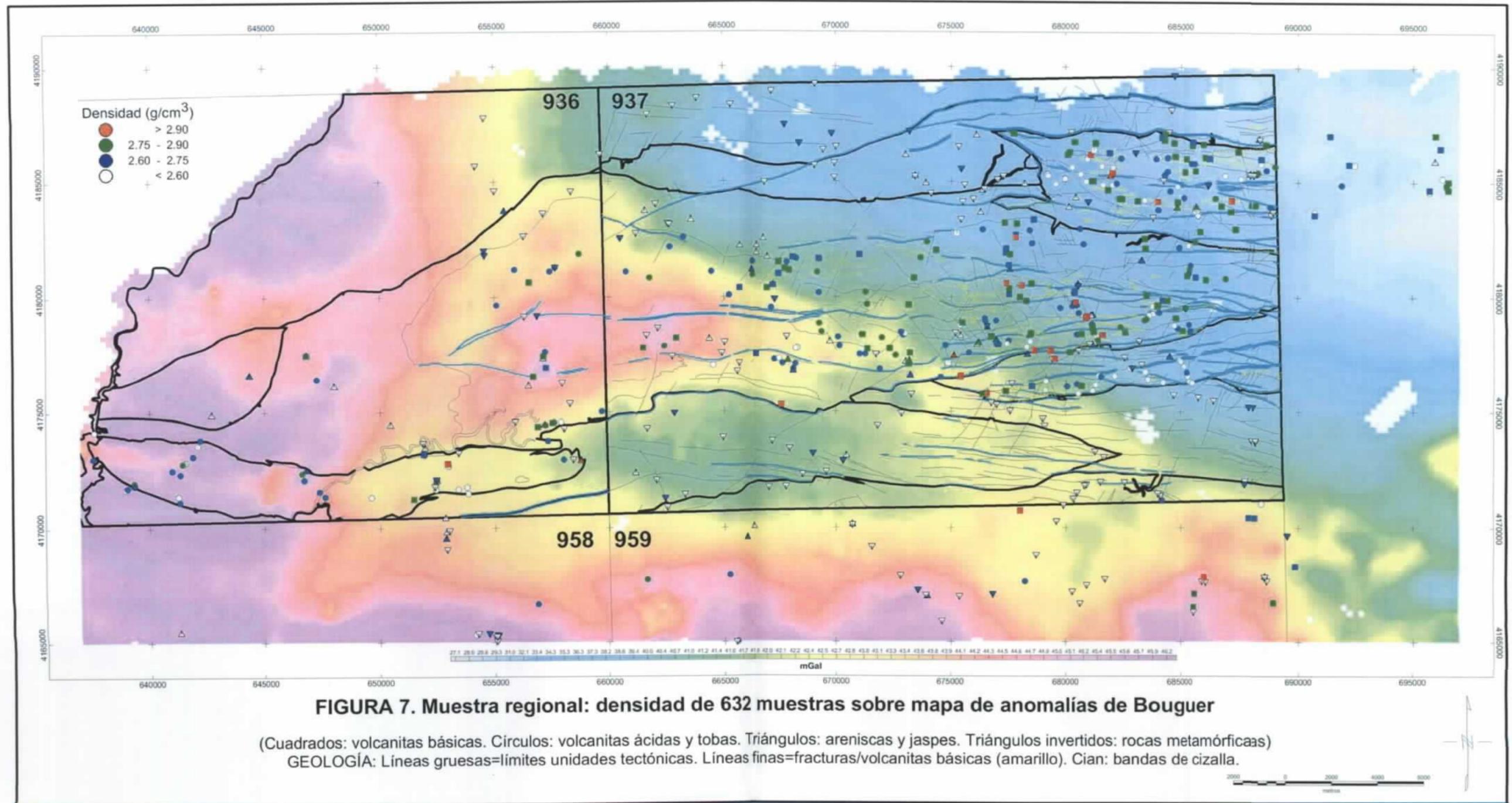
-Se considera suficientemente muestreado con 50 ejemplares de areniscas (sl) y 162 de rocas metamórficas (cuarcitas, esquistos y pizarras) las unidades metasedimentarias Devónico-Carboníferas: Pulo de Lobo (alóctono de la Faja Pirítica Ibérica, FPI), Gafo (alóctono FPI), PQ (FPI), C.V.S. (FPI) y Culm (FPI). La distribución de muestras se observa en la **Tabla V**.

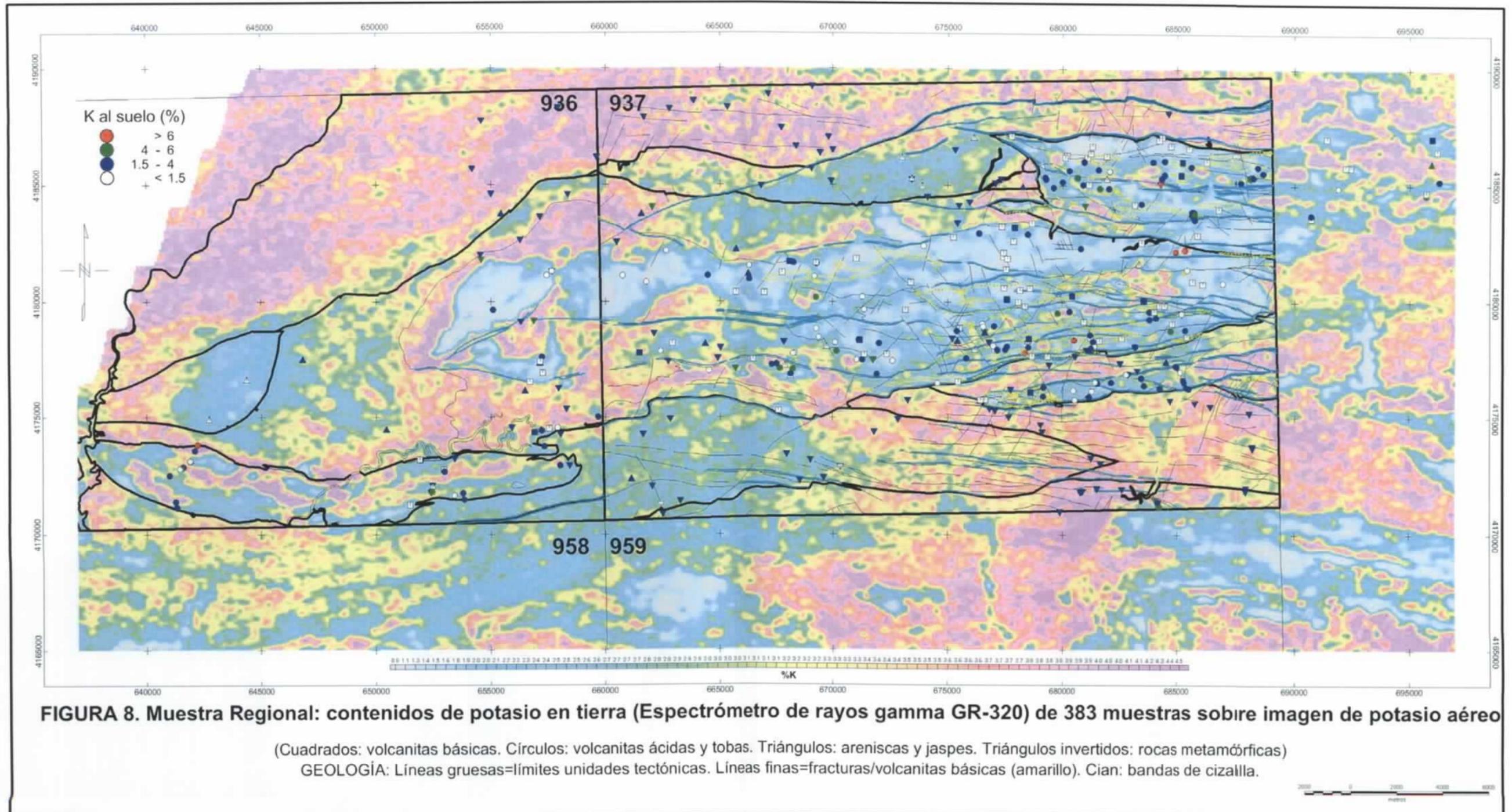
-También están bien representadas las extensas formaciones volcano-sedimentarias del C.V.S.: volcanitas ácidas (146 muestras), básicas (147 muestras) y tobas y epiclastitas (85 muestras). Las unidades tectoestratigráficas principales son tres (cfr. Esquema Tectónico de la hoja 937 de la cartografía de la Junta de Andalucía), de Norte a Sur: Unidad de Concepción (Serie volcánica que en la hoja 937 comprende las Escamas de Lomero Poyatos y S. Telmo donde afloran basaltos, riolitas, dacitas; andesitas y tobas y epiclastitas; **Tabla V**), Unidad de Gibraltar-Panera (unidad muy extensa, de carácter intermedio, que ocupa la faja central de las hojas 936 y 937 constituida por la Fm. Andesítico-Dacítica, donde estas litologías son mayoritarias, **Tabla V**), y Unidad de RíoTinto-Nerva (que incluye los aglomerados del Cerro de Andévalo, además de basaltos, riolitas, tobas, etc).

-Las rocas intrusivas son casi anecdóticas en la zona de trabajo.

La intensidad de la muestra regional resulta, aproximadamente, de un ejemplar por km², hasta un total de 632 muestras (con densidad-susceptibilidad), de las que 377 se tomaron en el 2002-2003, mientras que 255 corresponden al proyecto de 1994-95 (Plata, et al 1996.). Con el espectrómetro portátil se han obtenido 383 concentraciones en tierra (**figura 8**).







LITOLOGÍA	Cd	N	R	L	P	HOJA 937:UNIDADES								OTRAS HOJAS					
						C	GP	RT	Z	V	D	G	PL	936	938	958	959	960	
ANDESITAS	11	61	46	39	8	16	39								6				
BASALTOS	12	46	24	33	9	16	15	3								10		1	1
TRAQUIANDESITAS	13	12	4	10	4	3	6								1			2	
DIABASAS	14	28	11	22	3	6	13	3										3	
Total BÁSICAS		147	85																
DACITAS	21	77	46	61	8	7	52								16			2	
RIOLITAS	23	69	44	58	12	19	20	2							25	2		1	
Total ÁCIDAS		146	90																
TOBAS ÁCIDAS	33	65	49	42	12	21	18	14		2					6	2	2		
TOBAS BÁSICAS	34	13	9	8	1	2	7	1							2			1	
AGLOMERADOS	35	7	7	2	1			7											
Total		85	64																
ARENISCAS	71	18	7	12	1	3	9					4		2					
GRAUVACAS	72	32	15	28	9		11				2	2		9	1	3	4		
Total ARENISCAS		50	22																
JASPES	73	15	7	14	5	6	6							3					
CHERT	74	9	5	7	1	1	6							1			1		
Total MISCELÁNEAS		24	12																
CUARCITAS	81	8	2	8	2		1				2			1		2	2		
ESQUISTOS	82	21	18	13	6	2						1	13	5					
PIZARRAS	83	133	84	76	19	8	26	7	16	14	9	12	1	16	1	6	17		
METÁMÓRFICAS		162	104																
TONALITAS	43	13	5	6	5														
GRANITOS	52	5	1	3	2														
Total INTRUSIVAS		18	6																
TOTAL		632	383	433	108	110	229	37	16	16	13	19	14	93	16	13	34	1	

Tabla V. Muestra Regional: Litologías y distribución de las 632 muestras de petrofísica con medida de densidad-susceptibilidad. Dominio Noroccidental de la Faja Pirítica.

(Cd: código litológico. N: nº de muestras por litología. R: nº de muestras con determinación radiométrica al suelo. L: nº de muestras con lámina. P: nº de probetas pulidas. Unidades tectonoestratigráficas: C- Concepción; GP-Gibraltar-Panera; RT-RioTinto-Nerva; Z-Zalamea; V-Valverde-Calañas; D-Duque; G-Gafo; PL: Pulo do Lobo. Ver Figura 1).

Puede concluirse que la muestra general es *suficiente para el estudio regional* de la anomalías gravimétricas y aeroportadas correspondientes al vuelo de alta resolución de 1997 en las hojas 936 y 937 (Dominio Norte de la Faja Pirítica).

La fase de muestreo global (632 ejemplares) está destinada al establecimiento de las directrices generales para la *la interpretación geológica* de las campañas geofísicas a escala regional. Con objeto de facilitar la definición de guías geofísicas para la investigación de distintos tipos de recursos en el área estudiada, una vez finalizada esta fase, se abordó una segunda etapa de determinación de los parámetros petrofísicos de las rocas a nivel local, según un muestreo de mayor densidad en zonas específicas de interés minero, seleccionadas teniendo en cuenta las características de respuesta geofísica y facilidades logísticas (topografía, facilidad de acceso, referencias, etc.). Este muestreo específico se ha centrado en el área de LA GALLEGA (de unos 2 km², ubicada en el cuadrante NE de la hoja 937; hoja 1:25.000 de Valdelamusa), en donde se dispone de cartografías geológicas de detalle en formato digital, de datos originales y procesados de las gravimetrías mineras.

Por ello, no sólo su muestreo ha sido reforzado (v.g., 83 muestras en La Gallega), sino que se ha realizado en ellas un ensayo metodológico consistente en la toma de medidas de radiación gamma natural en tierra, con el espectrómetro de mano en modo de operación de registro continuo o "de paseo" (en perfiles separados 100 m).

El resumen cuantitativo del muestreo aparece a continuación:

Litología	Densidad y susceptibilidad	Magnetizaciones remanentes	Radiometría gamma natural in-situ (%K, ppmTh, ppmU)
Areniscas y grauvacas	50	13	22
Jaspes/Chert	15/9	7	7/5
Metamórficas	162	39	104
Volcanitas Básicas	147	58	85
Volcanitas Ácidas	146	43	90
Tobas y Epiclastitas	85	23	64
Plutónicas	18	2	6
MUESTRA REGIONAL	632	185	383
Zona La Gallega	83	-	83
TOTAL	715	185	466

Tabla VI. Resumen del volumen de datos del muestreo petrofísico regional y de detalle

Nota: en la zona de la La Gallega se han realizado, además, 20.3 km de mediciones radiométricas de registro continuo, con estaciones cada 25 m.

MEDICIONES. FLUJO DE DATOS

En la **figura 9** se presenta un diagrama de flujo de todo el sistema de datos de análisis petrofísicos, con indicación de la instrumentación usada y parámetros obtenidos, que se pasa a describir de manera breve.

-CAMPO: en cada sitio muestreado en campo se ha tomado una cantidad de unos 3 kg de roca, anotándose el número de identificación de la muestra, coordenadas, y fecha, que junto con los códigos de unidad o formación y litológico se incorpora a un fichero de campo (632 registros).

-LABORATORIOS: en el laboratorio del IGME en Tres Cantos se han efectuado las siguientes operaciones:

*Preparación de láminas delgadas y probetas pulidas. Con ellas primeras se procede a la clasificación precisa de las muestras y a la redacción de los informes petrográficos correspondientes (que, extractados, se incorporan a este estudio). Estos informes han sido realizados por D. Lucas Amado Cueto Pascual.

*Medición de la densidad aparente (460 ejemplares) por pesada de la muestra al aire y sumergida (principio de Arquímedes; resultan también los parámetros citados en la **figura 9**. Véase el **Anexo nº 7.1**).

*Obtención de polvo (unos 2 Kg a 2 mm) para medición de la susceptibilidad aparente (460 muestras). La medida de susceptibilidad de roca homogeneizada en la cantidad de polvo citada resulta más fiable que la obtenida a partir de un prisma o taladro.

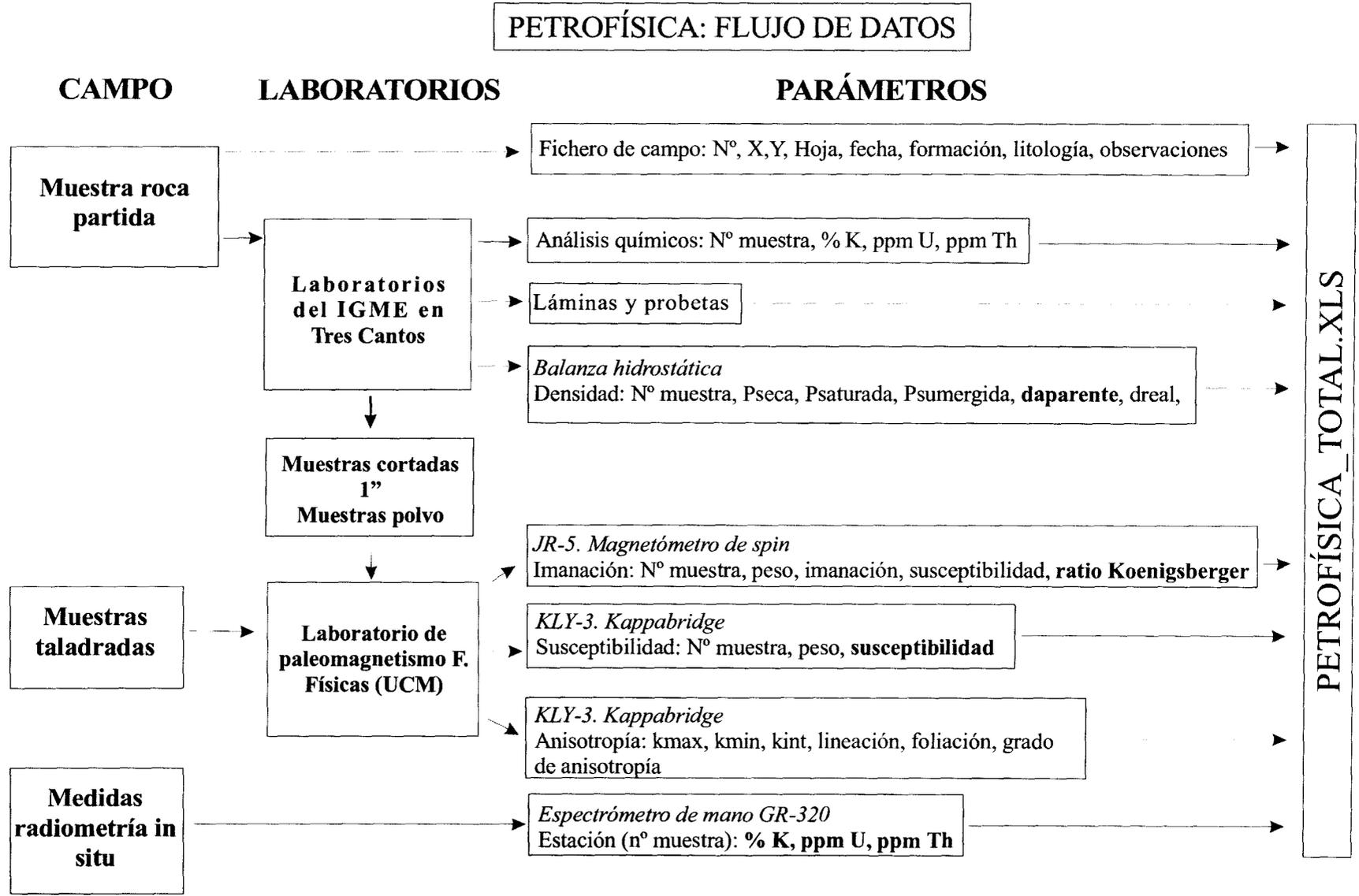


Figura 9. Diagrama de flujo de datos de petrofísica con indicación de la instrumentación usada.

*Corte de un prisma de 1 pulgada para medición de la magnetización remanente (parámetro Q) en roca no orientada. Las susceptibilidades y magnetizaciones se han medido en el laboratorio de paleomagnetismo de la F. CC. Físicas de la UCM, que obtiene también el parámetro Q citado.

Adicionalmente, con el espectrómetro de rayos gamma para medición in situ se han registrado 383 concentraciones de radioelementos (%K, ppmU y ppmTh) en sitios muestreados para densidad y susceptibilidad. A través del software apropiado, con los datos de calibración del espectrómetro GR-320, ambos suministrados por el fabricante (EXPLORANIUM), las cuentas en cada una de las 256 ventanas energéticas del instrumento se transforman en contenidos de K, U y Th. Hay que destacar que este instrumento, por su característica de monitorización continua y automática de la alineación espectral de sus 256 ventanas (mediante una fuente de Cs-137 que lleva incorporada) carece prácticamente de deriva, por lo que proporciona concentraciones de K, U y Th de valor geoquímico si el afloramiento ofrece buenas condiciones de medición (roca fresca, geometría 2π). En cada sitio elegido la medida (normalmente medidas dobles) es bastante rápida; en gabinete, una vez descargada la memoria del aparato, las cuentas en cada una de las ventanas del instrumento se transforman en contenidos de K, U y Th.

Además, para su eventual consulta, se dispone de análisis químicos de una parte de las muestras de rocas ígneas. Las fuentes son el *Proyecto integrado de estudio geológico y metalogenético de la Faja Piritica de 1994-95*, y el *Proyecto de Investigación Geológica y Cartografía Básica en la Faja Piritica y Áreas Aledañas. 1998-2000*.

-PARÁMETROS

Todos los ficheros de datos parciales se reúnen en la hoja de cálculo petrofísica_total.xls que, en resumen, además de las descripciones de cada muestra (su número de identificación, coordenadas X,Y UTM huso 30 datum ED50, nº de hoja 1:50.000, fecha, formación muestreada según el Magna, clasificación si existe lámina o litología de visu, códigos, e información auxiliar), contiene las siguientes determinaciones (destacadas en negrita en la **figura 9**): 632 densidades y susceptibilidades aparentes, 383 concentraciones espectrométricas (in-situ), y 185 magnetizaciones remanentes

En el **Anexo 7.1** se da información sobre los parámetros e instrumentación usada. Las precisiones estimadas son de 0.02 g/cm³ para densidad (sensibilidad de 0.01 g/cm³), 2% para la susceptibilidad (sensibilidad de $2.5 \cdot 10^{-7}$ ucgs), y 5-10% para la magnetización remanente (sensibilidad de $2.4 \cdot 10^{-6}$ A/m). Con el espectrómetro se efectúan lecturas dobles y triples que se promedian (sensibilidades de 0.05% en K, y 0.1 ppm de U y Th). Listados de los resultados de petrofísica_total.xls se dan por grupos de rocas en el **Anexo 7.2** (rocas volcánicas básicas y ácidas, areniscas y rocas metamórficas, rocas plutónicas). El fichero incluye todos los datos regionales y de detalle.

Para finalizar, conviene resaltar que, sin duda, el aspecto metodológico mas importante de este trabajo es la determinación de un conjunto de propiedades físicas de las rocas exactamente relevante para la interpretación de campañas gravimétricas y aeromagnetoradiométricas (fundamentalmente la densidad, la susceptibilidad magnética, y las concentraciones espectrométricas; el resto de los parámetros de la **figura 9**, es de interés más limitado en aplicaciones específicas).

Es frecuente encontrar publicados trabajos de petrofísica relativos a mediciones aisladas de susceptibilidades y pesos específicos, o de susceptibilidades y magnetizaciones remanentes, o de contenidos de radioelementos naturales mediante espectrómetros terrestres, como se ha indicado en el apartado introductorio, pero es muy infrecuente la determinación e interpretación conjunta de todos estos parámetros. De ello se derivan unas importantes sinergias, no sólo para la interpretación geológica de las correspondientes campañas de geofísica, lo que es más evidente, sino también para

los estudios de petrología (v.g. diagnóstico de procesos que hayan sufrido las rocas y que quedan reflejados en sus propiedades magnéticas, o en su densidad) y de geoquímica convencionales (v.g., separación de origen y entorno tectomagmático y evolución diferenciada de distintas variedades litológicas según sus contenidos en radioelementos), y de ello existe toda una casuística en la zona de estudio (todos estos datos de petrofísica tienen una historia geológica que descifrar).

Añadir por último que, además, buena parte de estos parámetros petrofísicos puede ser registrada en campo de manera rápida y económica, por lo que su adquisición es muy recomendable por las razones expuestas.

RELACIONES ENTRE PARÁMETROS. DIAGRAMAS BIVARIANTES

Los resultados del estudio petrofísico se van a presentar en forma de histogramas, mapas de posición y diagramas bivariantes. Es destacable la utilidad de estos últimos, sea del tipo de que se trate (suceptibilidad-densidad $k-d$, suceptibilidad-magnetización remanente $k-Q$, contenidos $\%K$ -ppmTh, o entre cualesquiera parámetros de los estudiados), consistente en que:

*Proporcionan una visión inmediata de los campos de variación globales y los agrupamientos (modas) de los datos en cuestión.

*Tienden a caracterizar de forma precisa las tendencias petrofísicas existentes en los grupos rocosos estudiados, y los procesos subyacentes en ellas (v.g. exolución/oxidación de minerales; evolución geoquímica de tierras raras radiactivas), lo que es más importante por ser específico de este tipo de representación.

*Facilitan el diagnóstico litológico.

De esta forma los diagramas bivariantes se configuran como una herramienta metodológica de primer orden para el análisis petrofísico, por lo que van a ser exhaustivamente utilizados en este trabajo. Entre los mejores ejemplos publicados de diagramas suceptibilidad-densidad y suceptibilidad-magnetización remanente se encuentran los de Henkel (1991, 1994) con datos relativos a unas 30.000 muestras de rocas ígneas y metamórficas del Escudo Escandinavo. En la **figura 10** se presenta el conjunto de resultados correspondientes a este estudio, que serán analizados en el próximo capítulo. Los campos de variación, ya sea de la fracción paramagnética (elipse inferior) o de la ferromagnética (elipse superior), son los usuales tanto para rocas ígneas ácidas y básicas, como para rocas metasedimentarias (Henkel 1994).

Por lo que respecta a diagramas bivariantes con datos de mediciones de radiación gamma natural en tierra, resulta especialmente útil el estudio del diagrama Th-K (v.g., **figura 5**), del que se deduce inmediatamente los diferentes contenidos y tendencias radiométricas de cada unidad estudiada (y los procesos subyacentes a ellas, en este caso la evolución geoquímica del K y tierras raras radiactivas), permitiendo establecer relaciones entre tipos de rocas. Se trata por tanto de datos de indudable interés geoquímico. Por otro lado, la correlación de estos datos en tierra con los del registro aéreo sirve para evaluar la capacidad discriminatoria del vuelo, y por tanto, la potencialidad de la cartografía radiométrica, ya sea en la identificación lito-estructural, ya en la delineación de unidades complejas o con malas condiciones de afloramiento, ya en la detección de objetos de interés minero.

ROCAS VOLCÁNICAS Y METASEDIMENTARIAS

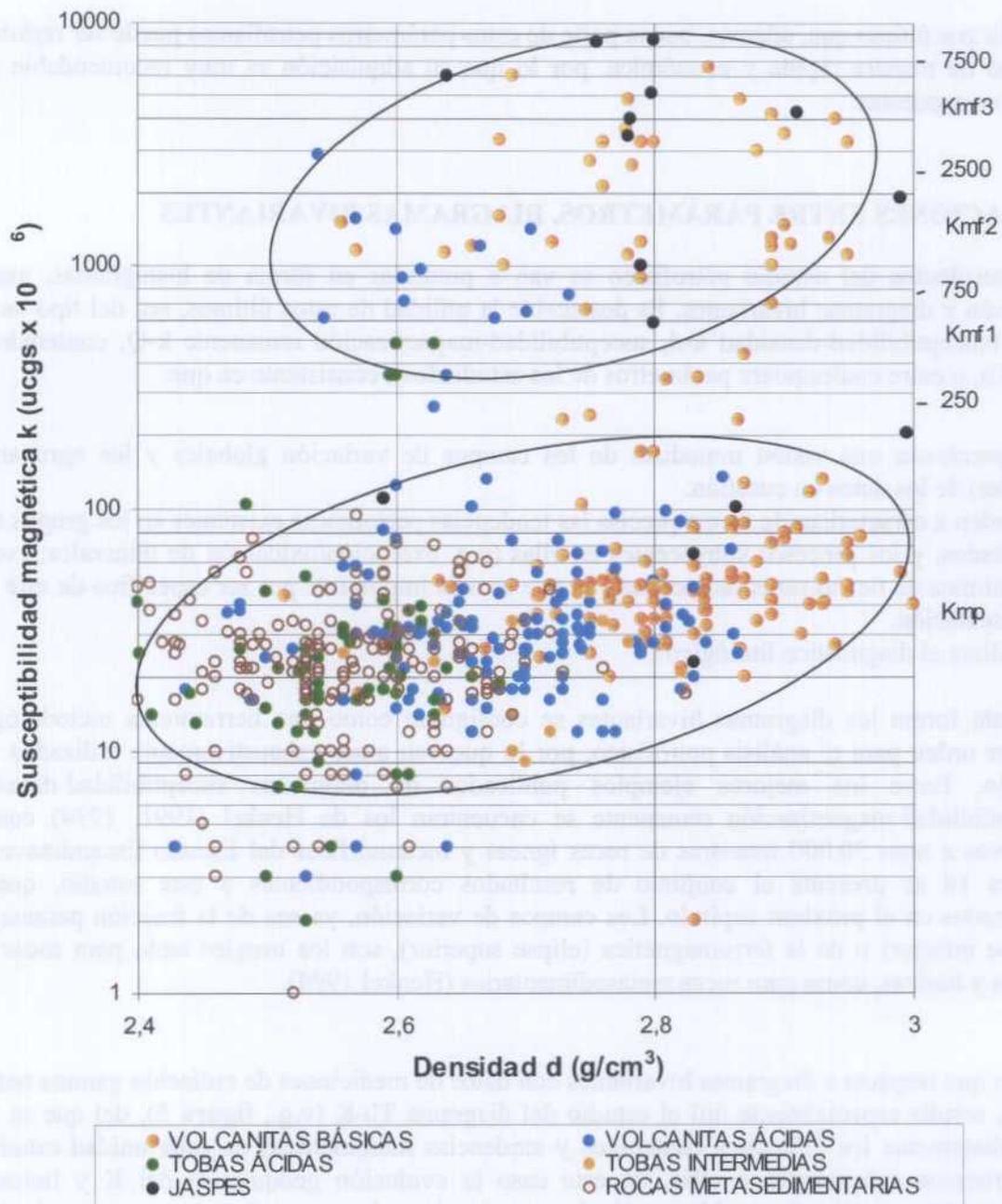


Figura 10. Diagrama densidad - susceptibilidad de 632 muestras del Dominio Septentrional de la Faja Pirítica

Para finalizar, indicar que una cuestión importante para la agrupación, presentación y análisis de resultados de un parámetro típicamente polimodal como la susceptibilidad, es la adopción de los límites del paramagnetismo y distintos umbrales de ferromagnetismo a los que referir los estadísticos generales. Aunque es posible utilizar distintos umbrales para rocas ligeras y pesadas*, en este trabajo, en aras de simplificar categorías en un área con fuerte presencia de magnetita, las vamos a agrupar en los siguientes niveles (que denominaremos kmp, kmf1, kmf2, y kmf3):

MODA	FRACCIÓN	ANOMALÍA	% Fe ₃ O ₄
kmp: $k < 250 \cdot 10^{-6}$ ucgs	Fracción paramagnética.	Hasta 1 nT	(% Fe ₃ O ₄ < 0.1),
kmf1: $250 < k < 750 \cdot 10^{-6}$ ucgs	Fracción débilmente ferromagnética.	Hasta 10 nT	(0.1 < % Fe ₃ O ₄ < 0.3),
kmf2: $750 < k < 2500 \cdot 10^{-6}$ ucgs	Fracción moderadamente ferromagnética.	Hasta 100 nT	(0.3 < % Fe ₃ O ₄ < 1),
kmf3: $k > 2500 \cdot 10^{-6}$ ucgs	Fracción ferromagnética.	Hasta 500 nT	(1 < % Fe ₃ O ₄ < 3.5)**

Dado que un único promedio no sería representativo (algo más lo sería la mediana, utilizada en las tablas de resultados VII a XIII para expresar las magnetizaciones remanentes obtenidas -parámetro Q-), a estos rangos referiremos medias y modas de susceptibilidad, y serán los usados en los códigos de color de los mapas de posición de muestras (**figura 6**). Estos niveles de susceptibilidad corresponden, groseramente, a los necesarios para producir anomalías de varias nT, pocas decenas de nT, muchas decenas de nT, y algún centenar de nT, anomalías todas ellas existentes en los mapas aeromagnéticos de la región que estamos estudiando (**figura 6**). En densidades se han usado también 4 niveles para la figura de posición (**figura 7**).

*Henkel (1994) recomienda un límite paramagnético:

1) De unas $100 \cdot 10^{-6}$ unidades cgs para la región ligera del espacio k-d (hasta 2.75 g/cm³, que se puede tomar como límite de densidad de las rocas ácidas). Ello corresponde a un 0.03% de magnetita MD bien cristalizada. En este grupo la contribución a la susceptibilidad realmente de origen paramagnético será muy pequeña ($< 10 \cdot 10^{-6}$ ucgs); 2) De $250 \cdot 10^{-6}$ ucgs para la fracción litológica pesada (gabros-dioritas, basaltos-espilitas-diabasas, anfíbolitas, etc). Para este grupo la variación k-d provocada por una fracción v de minerales paramagnéticos en la roca (biotita, anfíboles, piroxenos, olivinos) puede calcularse por: $d = (1-v) \cdot d_s + v \cdot 3.2$ g/cm³; $k = 120 \cdot v \cdot 10^{-6}$ ucgs, (Henkel, 1994), curva representativa de la tendencia paramagnética de la elipse inferior de la **figura 10**, que en conjunto se obtendría variando la densidad d_s de la fracción silicatada (diamagnética) según los contenidos de cuarzo y feldspatos ($2.55 < d_s < 2.67$). La expresión teórica de la tendencia ferromagnética se obtiene por $d = (1-v-v') \cdot d_s + v \cdot 3.2 + v' \cdot 5.2$ g/cm³, $k = v' \cdot 300000 \cdot 10^{-6}$ ucgs (v': contenido en magnetita).

**El máximo de susceptibilidad de los datos registrados en este trabajo ha sido de $8536 \cdot 10^{-6}$ ucgs, correspondiente a algo más de un 3% de Fe₃O₄.

2.3. DENSIDAD, SUSCEPTIBILIDAD Y RADIATIVIDAD POR GRUPOS DE ROCAS

2.3.1. ROCAS VOLCÁNICAS BÁSICAS

2.3.1.1 ANDESITAS

Todas las muestras (61 en total, de ellas 39 con lámina y 8 también con probeta) se han recogido en la Fm. Andesítico-Dacítica ampliamente representada en el área del proyecto, tanto en la hoja del Cerro de Andévalo (937), como en la de Paymogo (936), en las unidades de Gibraltar-Panera (amplia faja central E-O de la hoja 937, **figura 1**), en la lámina de Lomero-Las Palomeras de la unidad de Concepción (NE hoja 937), y en algunos afloramientos de la unidad Río Tinto-Nerva (SE de la hoja 937). En Paymogo está muy bien desarrollada en el Cerro del Bramadero. La Formación está constituida por rocas masivas y por conglomerados y epiclastitas de composición intermedia; en campo se observan bolos y suelos de alteración rojiza.

La densidad aparente oscila en un amplio rango entre 2.51 y 3.00 g/cm³, con un histograma de densidades bastante desagrupado (**figura 11**). La media es de 2.78 g/cm³ y las modas de 2.81-2.84 g/cm³, valores que se pueden considerar normales para esta litología. Se trata por tanto de rocas de densidad intermedia-alta, capaz de producir anomalías gravíficas si los volúmenes implicados no son pequeños. En el mapa regional de Anomalías de Bouguer estas rocas tienden a situarse en zonas de gradiente, o abarcando anomalías gravimétricas regionales dentro de las cuales existen máximos importantes.

En cuanto a los resultados de susceptibilidad, son rocas claramente paramagnéticas (media paramagnética $k_{mp}=45 \cdot 10^{-6}$ ucs de los 61 ejemplares). Sólo existen dos datos próximos al límite paramagnético considerado en este trabajo ($250 \cdot 10^{-6}$ ucs, **figura 11**), que podrían contener porcentajes de magnetita del orden del 0.1%. Por tanto, se trata de rocas que no deben producir anomalías magnéticas. En el mapa de campo magnético reducido al polo la Fm. Andesítico-Dacítica alberga algunas anomalías importantes (debidas a diabasas y basaltos, **figura 6**) pero no exhibe una cartografía magnética precisa.

Las andesitas son poco radiactivas. Los valores del potasio radiométrico “in-situ” oscilan entre 0.2 y 2.5%, con una media de 0.9% (**figura 12**). La moda es del 0.6% (en la serie de 46 mediciones este valor se presenta 12 veces), estadístico que se considera de mayor representatividad que el rango o la media, al estar éstos distorsionados con cuatro datos con $1.8 < \%K < 2.5$, bien diferenciados en el diagrama K-Th de la **figura 13**. En dos de estos cuatro casos los afloramientos son de mala calidad para la medición radiométrica, en otros dos existen potasificaciones vía sericitación de plagioclasas. Ninguno de estos cuatro casos potasificados se asocia a bandas de cizalla.

El rango del Th de las andesitas varía entre 1.9 y 12.7 ppm, siendo su media de 6.6 ppm; la moda es de 6 ppm (**figura 12**, valor que también aparece doce veces en los 46 datos de la serie). El U está comprendido entre 0.0 y 2.3 ppm, con media de 0.9 ppm. La moda de U está mal definida, pudiendo variar entre 0.6 ppm (7 datos) y 1.4 ppm (8 datos, **figura 12**). Existen 4 valores de U algo elevados, próximos a 2 ppm.

En general, puede decirse que los valores modales de K-U-Th son los normales para este tipo de rocas; si bien en algunos casos existen alteraciones que les confieren una radiactividad más elevada. En el diagrama K-Th estos casos corresponderían a datos con $K > 1.5\%$ ó $Th > 8$ ppm, en el espacio U-Th serían datos con $U > 1.4\%$ ó $Th > 8$ ppm (**figura 12**). En ningunos de estos diagramas se observa tendencia radiométrica que permita efectuar relaciones radiométricas claras con otras rocas básicas.

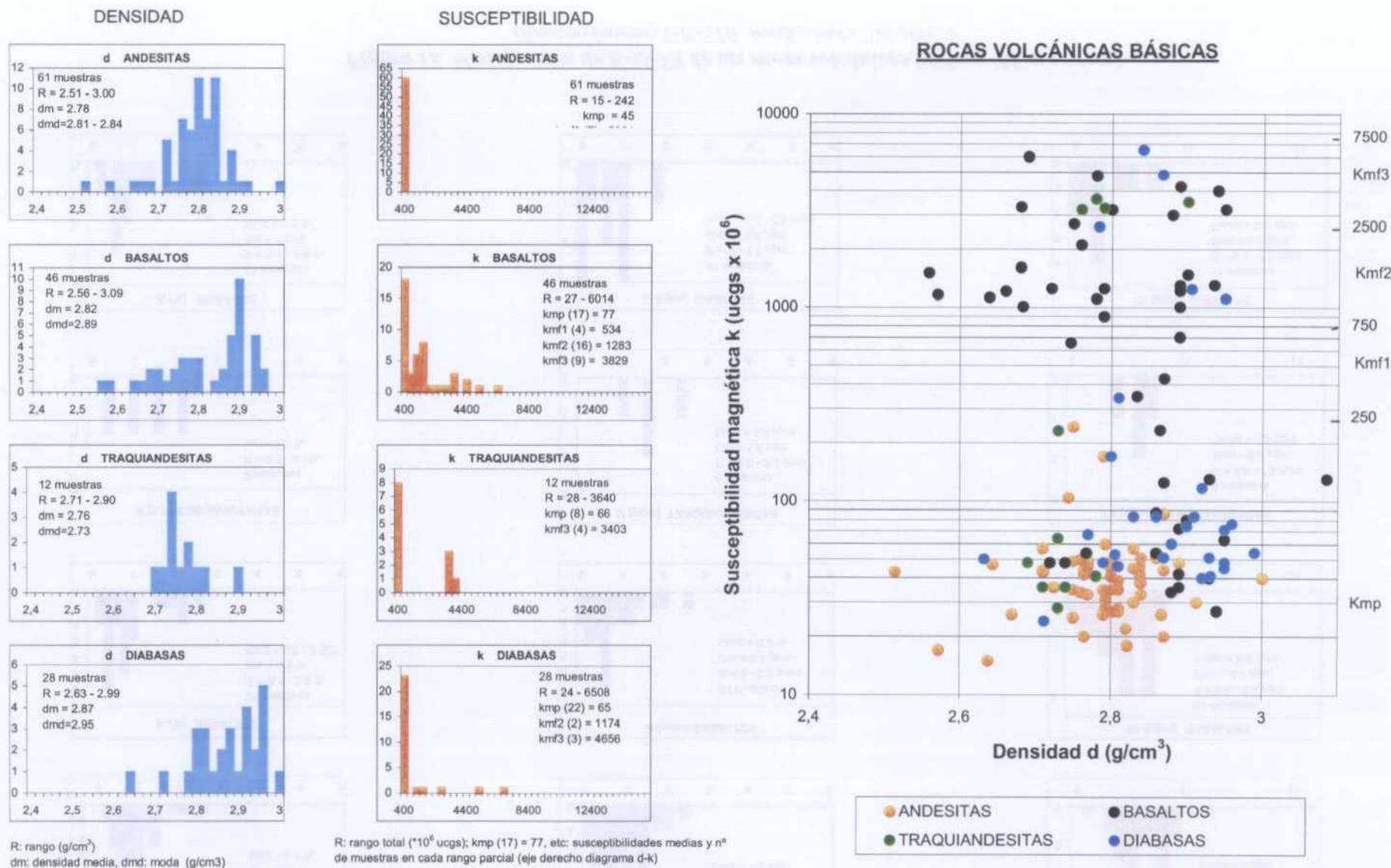


Figura 11. Histogramas de densidad, susceptibilidad y diagrama d - k de las rocas volcánicas básicas (147 muestras)
(Los rangos a los que se refieren las medias de susceptibilidad se indican en la barra derecha del diagrama d-k)

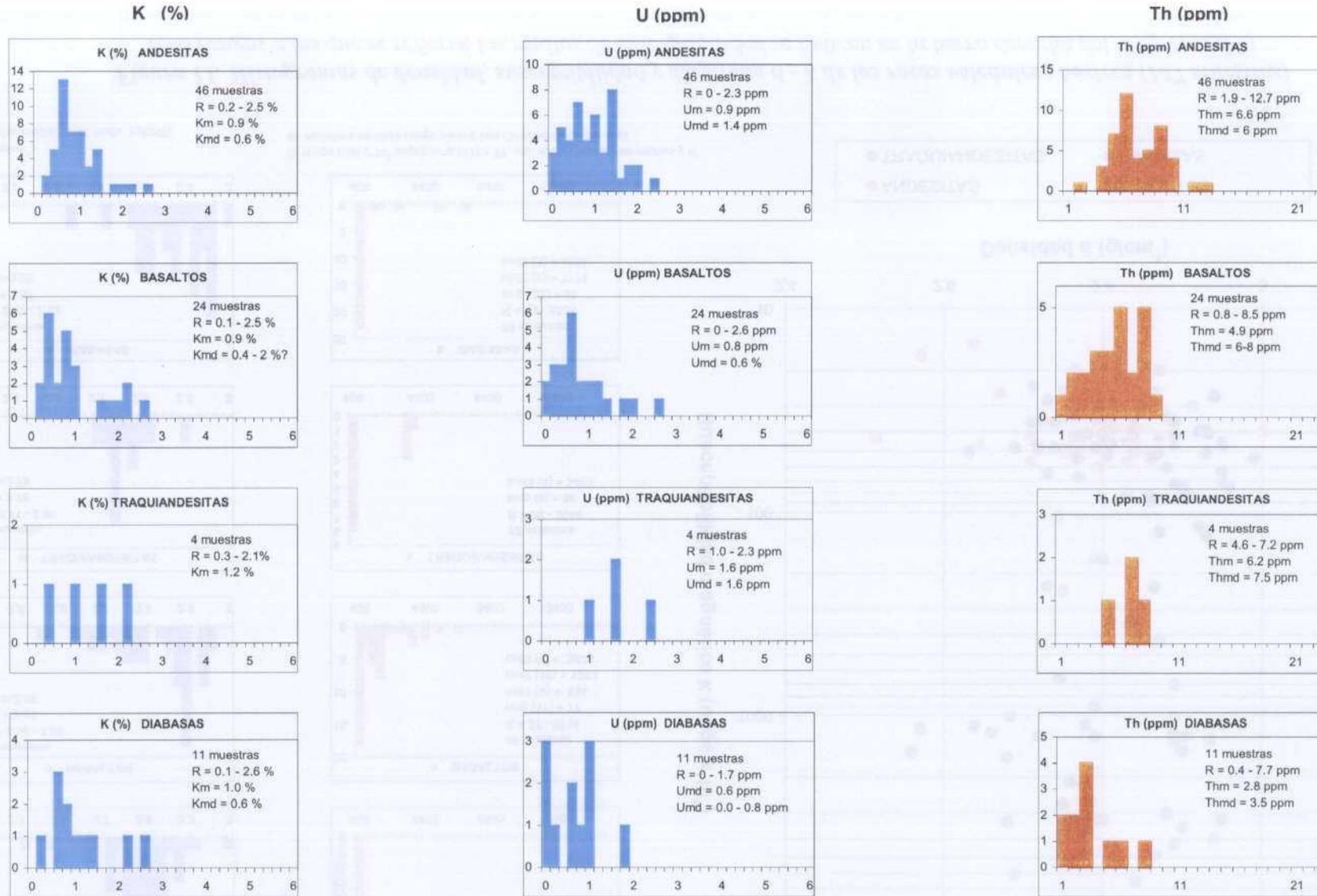


Figura 12. Histogramas de K-U-Th de las rocas volcánicas básicas (85 muestras)
 (Espectrómetro GR-320: mediciones "in-situ")

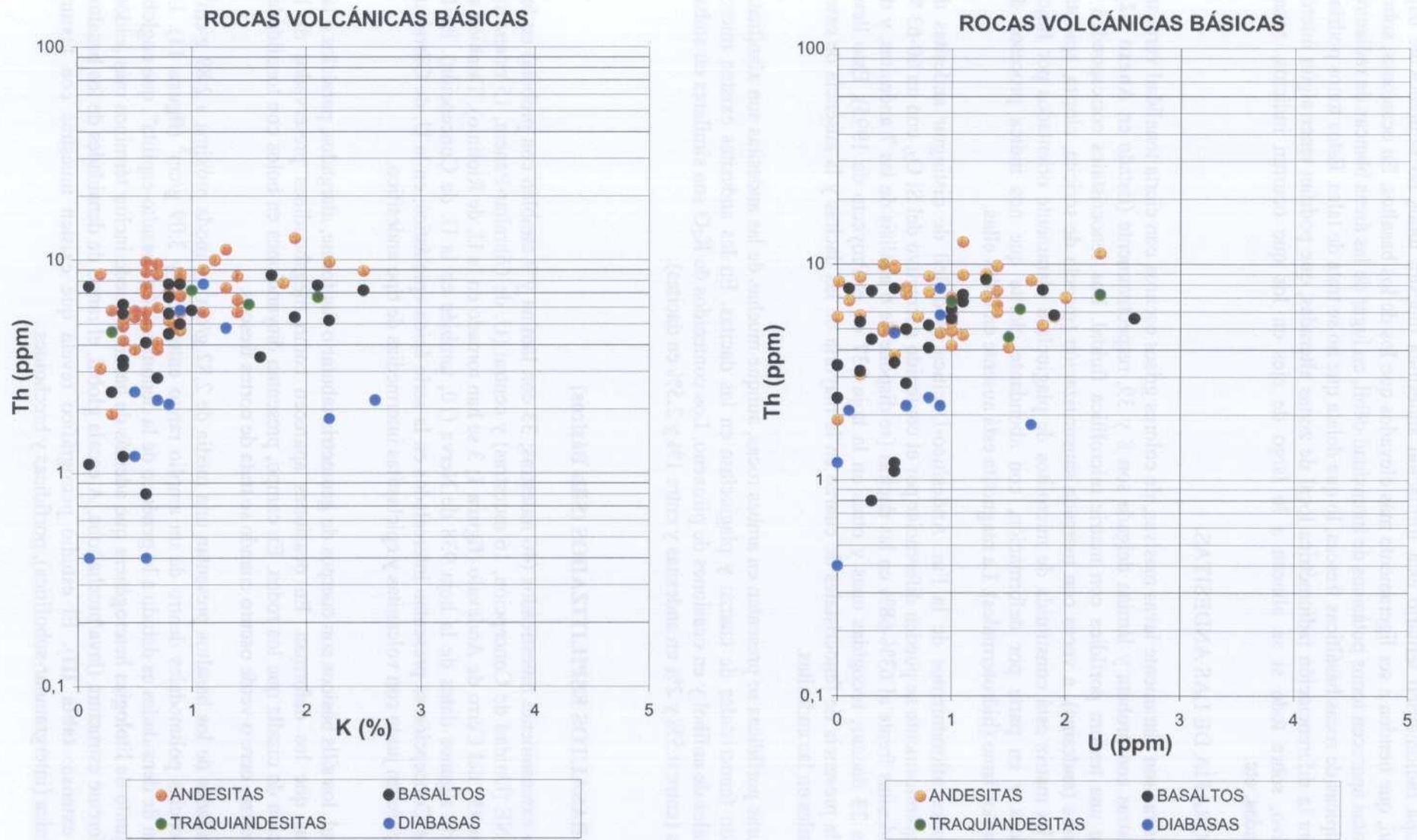


Figura 13. Diagramas K-Th y U-Th de las rocas volcánicas básicas (85 muestras)
(Espectrómetro GR-320: mediciones "in-situ")

En el mapa radiométrico ternario esta formación andesítica muestra tonos no saturados de baja intensidad, que tienden a ser ligeramente más elevados que los de los basaltos. En ocasiones, sobre las andesitas aparecen tonos potásicos de intensidad débil, en lugar de las áreas blancas de radiación mínima típicas de rocas basálticas frescas, lo que delata que no se trata de tales. Estos tonos podrían servir para la diferenciación radiométrica local de zonas alteradas, que podrían tener algún interés prospectivo, sobre todo si se alinean a lo largo de ejes en los que ocurran indicios, zonas gossanizadas, etc.

-PETROGRAFÍA DE LAS ANDESITAS.

Las andesitas son claramente lavas masivas, de colores grises oscuros con cierta tonalidad verdosa. Las muestras con probeta y lámina delgada son 8 y 39, respectivamente (listado en **Anexo 7.2**). Presentan una textura porfídica con matriz microlítica fluidal. Los fenocristales corresponden a plagioclasas (andesina), a veces con marcada sausrutización (mezcla de sericita, clorita, epidota, calcita). La matriz está constituida de microlitos de plagioclasa claramente orientados por flujos magmáticos y en parte por deformación, con abundante clorita que nos indica procesos de retrometamorfismo (hidrotermales). La magnetita está ausente en todas ellas.

En bastantes afloramientos de la Fm. Andesítico-Dacítica es difícil de distinguir andesitas de dacitas; químicamente se pueden diferenciar por el contenido normativo del Si O₂, con un 60-63 % en las andesitas frente al 63%-68% en las dacitas (se dispone de 6 análisis de las 7 andesitas, y de 20 de las 23 dacitas, recogidas unas y otras en la hoja 937 en el Proyecto de 1995). Esto lleva consigo la presencia de fenocristales de cuarzo en la mayoría de las dacitas y la ausencia de estos fenocristales en las andesitas.

Las texturas porfídicas se presentan en ambas rocas, aunque muchas de las andesitas son afáníticas, dominando fenocristales de cuarzo y plagioclasa en las dacitas. En las andesitas existen micro-fenocristales de anfíbol y en ocasiones de piroxeno. Los contenidos de K₂O son similares en ambas litologías (entre 0.5% y 2% en andesitas y entre 1% y 2.5% en dacitas).

2.3.1.2 BASALTOS ESPILITIZADOS (Sills Básicos)

Han sido extensamente muestreados (46 muestras; 33 con lámina y 9 también con probeta) en los sectores NE (Unidad de Concepción, 16 muestras) y central (U. de Gibraltar-Panera, 15 muestras) de la hoja 937 del Cerro de Andévalo (**figura 1**; 3 se han tomado en la U. de Riotinto). También se dispone de algunos datos de la hoja 938 de Nerva (10, también en la U. de Concepción). En la unidad de Concepción se presentan intercalados en la serie ácida-epiclástica; en la U. de Gibraltar-Panera aparecen junto con volcanitas y epiclastitas intermedias de tipo andesítico.

En general, los sills básicos son cuerpos de geometría tabular o fusiforme, alargados, paralelos a las estructuras que los deforman. En ocasiones aparecen como megaboudines preservados de la deformación de cizalla que los rodea. En campo, presentan disyunciones en bolos con tonalidades marrón-rojizo, ocre o verde oscuro cuando se trata de cortes frescos.

Las densidades de los basaltos presentan una media de 2.82 g/cm³, y moda próxima a 2.89 g/cm³, con tendencias polimodales dentro de un amplio rango entre 2.56 y 3.09 g/cm³ (**figura 11**). La dispersión de densidades es debido a lo genérico de la denominación "basalto-espilita", que engloba a un conjunto de litologías heterogéneas que además de basaltos puede incluir términos más ácidos, y con diferente estructura (lava/brecha/toba. A escala global, el rango de densidades de los basaltos es muy extenso: **tabla III**). El estudio petrográfico revela que existen muestras con textura subvolcánica (intergranular-subofítica), porfídicas y brechoides.

Se trata por tanto de rocas de densidad alta, que por su amplia distribución son claras candidatas a ser responsables de buena parte de las anomalías de gravedad de los mapas regionales de Bouguer del Dominio Noroccidental de la Faja Pirítica. Estas rocas, junto con las diabasas, provocan notorios gradientes de gravedad en la mitad Sur-Suroeste de la hoja 937, con importantes emplazamientos en profundidad, de modo que los máximos, en una gravimetría regional, no se ajustan a los detalles de su cartografía (**figura 7**). En gravimetrías mineras, los mapas de anomalías residuales suelen reflejar con precisión la presencia de basaltos, con buena correlación con cartografías de detalle.

En el conjunto de susceptibilidades, en un rango muy amplio entre 27 y 6014 unidades, se observa claramente la existencia de varios grupos, yuxtapuestos en la cartografía: uno con valores muy bajos o bajos ($<250 \cdot 10^{-6}$ ucgs, 17 ejemplares) con un promedio paramagnético $k_{mp}=77 \cdot 10^{-6}$ ucgs, y otro, mayoritario en el conjunto, que presenta varias modas ferromagnéticas:

* cuatro muestras con resultados entre 250 y $750 \cdot 10^{-6}$ ucgs ($k_{mf1}=534 \cdot 10^{-6}$ ucgs),

* 16 datos entre $750-2500 \cdot 10^{-6}$ ucgs ($k_{mf2}=1283 \cdot 10^{-6}$ ucgs), y

* 10 valores superiores a $2500 \cdot 10^{-6}$ ucgs (media k_{mf3} de $3829 \cdot 10^{-6}$ ucgs)

Son 24 las muestras con susceptibilidad entre las 1000 y $6000 \cdot 10^{-6}$ ucgs. Las modas ferromagnéticas más importantes parecen próximas a 1400 y $3200 \cdot 10^{-6}$ ucgs (**figura 11**), correspondientes, respectivamente, a un 0.6 y 1.3% modales de Fe_3O_4 . Los cuatro ejemplares más magnéticos que superan las $4.000 \cdot 10^{-6}$ ucgs son el n° 1562 ($4006 \cdot 10^{-6}$ ucgs, 1.6% de Fe_3O_4), el n° 1560 ($4208 \cdot 10^{-6}$ ucgs, 1.7% de Fe_3O_4), el n° 1755 ($4801 \cdot 10^{-6}$ ucgs, 1.9% de Fe_3O_4) y el n° 1760 ($6014 \cdot 10^{-6}$ ucgs, 2.5% de Fe_3O_4).

Este comportamiento magnético polimodal se corresponde bien con las fuertes anomalías (v.g., el arco anómalo del cuadrante NE de la hoja 937, **figura 6**) y áreas de tranquilidad magnética existentes sobre los basaltos en toda la zona de estudio. Estas rocas se configuran como el marcador magnético principal del Dominio Noroccidental de la Faja Pirítica.

De las espilitas se dispone de una amplia gama de láminas delgadas y probetas pulidas. Estas rocas se caracterizan por presentar albita procedente de una plagioclasa más cálcica y en gran parte seritizada por procesos supergénicos, clorita procedente de antiguos ferromagnesianos de los cuales no quedan restos, epidota y leucoxeno (gránulos de minerales titanados, esfena y/o rutilo derivados de ilmenita). Las espilitas pueden contener, además, apreciables proporciones de magnetita, la cual presenta una gran variabilidad en su tamaño de grano, existiendo una población con tamaños superiores a 0,50 mm, y otra entre 0,010 y 0,020 mm, con tamaños intermedios entre las dos poblaciones. El origen de esta magnetita en su mayor parte podría ser debido a los procesos secundarios (v.g. deutéricos) sufridos por estas rocas.

Las texturas de las espilitas suelen variar desde porfídicas con matriz de grano fino a microgránulos o subofíticas, por lo que su emplazamiento ha debido de ser en coladas o "sills" someros (texturas porfídicas con matriz de grano fino) o "sills" emplazados a cierta profundidad (texturas subofíticas). Los restos texturales que se observan en las muestras de espilitas permiten suponer que, en efecto, algunas derivan de rocas basálticas (coladas), mientras que otras con rasgos de texturas intergranulares, que demuestran un enfriamiento más lento, podrían derivar de doleritas o representar centros de coladas basálticas en los cuales los enfriamientos son más lentos que en los bordes y partes superiores e inferiores de las coladas.

Se dispone de 15 muestras de basaltos espilitizados con análisis químico recogidas en la hoja 937 en el Proyecto de 1995. Presentan un contenido de SiO₂ normativo entre el 50 y el 57%, con porcentajes de potasio del 0.1 al 1.6%, y promedio del 0.85%.

Los basaltos son muy poco radiactivos. Los valores espectrométricos del potasio oscilan entre 0.1 y 2.5%, con media de 0.9% (**figura 12**). La moda es del 0.4% (este valor se presenta 6 veces en la serie de 24 mediciones radiométricas "in situ"). Igual que en las andesitas, la moda se considera de mayor representatividad que el rango o la media, al estar éstos distorsionados con seis datos con $1.6 < \%K < 2.5$ (moda próxima al 2% en **figura 12**). En parte se trata de casos de afloramientos de mala calidad para la medición radiométrica (bolos sueltos). Entre las muestras con lámina se han detectado potasificaciones de plagioclasas (muestras n° 1526 con 1.6% K y n° 1633 con 2.1% K; y n° 1634 y n° 1701 sin medidas "in-situ" por su pobre afloramiento); o cloritizaciones severas y presencia de minerales arcillosos (muestra n° 1643 con 2.5% K). En el diagrama K-Th de la **figura 13** se observan las 6 muestras potasificadas claramente separadas de la tendencia o grupo principal de datos. Estas muestras altas en K no se asocian a bandas de cizalla.

El rango del U de los basaltos varía entre 0 y 2.6 ppm, con media de 0.8 ppm; la moda es de 0.6 ppm (**figura 12**; 6 valores de los 24 de la serie). Existen 3 valores de U algo elevados, entre 1.8 y 2.6 ppm. El Th está comprendido entre 0.8 y 16.1 ppm, con media de 5.4 ppm. La moda de Th está mal definida, pudiendo ser de 6 ppm (5 datos) ó 8 ppm (5 datos, **figura 12**).

Son, por tanto, rocas de radiactividad ligeramente inferior a la de las andesitas (modas de K-U-Th de 0.4%-0.6 ppm-6 ppm en los primeros, y 0.6%-1.4 ppm-6 ppm en las segundas, **figura 12**), de manera que basaltos y andesitas se van a diferenciar mal en los mapas aéreos. Igual que en las andesitas, los valores modales de K-U-Th de los basaltos son los normales para este tipo de rocas; con casos donde las alteraciones (potasificaciones, argilitizaciones) las confieren radiactividades más altas. En el diagrama K-Th estos casos corresponderían a datos con $K > 1\%$ ó $Th > 8$ ppm, en el espacio U-Th serían datos con $U > 1$ ppm ó $Th > 8$ ppm (**figura 13**). En ningunos de estos diagramas se observa tendencia radiométrica alguna, los datos aparecen muy desagrupados. No se pueden establecer relaciones radiométricas con otras rocas básicas, en particular con andesitas. Los basaltos con radiactividades típicas ($0.4\% < K < 0.9$ y $3 \text{ ppm} < Th < 8 \text{ ppm}$) ocupan el mismo espacio K-Th que las andesitas de menor radiación (**figura 13**), con ratios de enriquecimiento en Th similares (ratio K/Th, posible indicativo de evolución cogenética).

En el mapa radiométrico ternario la formación de *sills* básicos muestra tonos no saturados de baja intensidad, ligeramente inferiores a las de las andesitas.

2.3.1.3 DIABASAS

Las diabasas (28 muestras. 22 con lámina y 3 también con probeta) han sido muestreadas en los sectores NE (Unidad de Concepción; 6 datos) y SE (Unidad de Riotinto-Nerva) de la hoja 937, donde afloran en los "sills básicos" como formas transicionales de los basaltos de emplazamiento más profundo. También se dispone de una docena de datos de estas rocas en los denominados intrusivos del Cerro de Andévalo (borde central-Sur de la U. de Gibraltar-Panera, 13 muestras).

Las densidades muestran un rango de 2.63 - 2.99 g/cm³, con media de 2.87 g/cm³, y moda de 2.95 g/cm³ (**figura 11**). La dispersión de densidades es menor que en los basaltos, como corresponde a rocas intrusivo-subvolcánicas más homogéneas.

Se trata de rocas de densidad alta, algo más pesadas que los basaltos (**figura 11**), que también por su amplia distribución son candidatas a ser responsables de otra buena parte de las anomalías de gravedad de los mapas de Bouguer del Dominio Noroccidental de la Faja Pirítica.

Las susceptibilidades exhiben un rango muy similar al de los basaltos: $24-6508 \cdot 10^{-6}$ ucgs frente a $27-6014$ unidades de aquéllos. Se observa claramente la existencia de dos grupos de valores: uno mayoritario (**figura 11**) con valores muy bajos o bajos ($<200 \cdot 10^{-6}$ ucgs, 22 ejemplares) con un promedio paramagnético $kmp=65 \cdot 10^{-6}$ ucgs, y otro, minoritario en el conjunto, que presenta varias modas ferromagnéticas poco pobladas:

- * una muestras con resultados entre 250 y $750 \cdot 10^{-6}$ ucgs ($340 \cdot 10^{-6}$ ucgs),
- * 2 datos entre $750-2500 \cdot 10^{-6}$ ucgs ($kmf2=1174 \cdot 10^{-6}$ ucgs), y
- * 3 valores superiores a $2500 \cdot 10^{-6}$ ucgs (media $kmf3$ de $4656 \cdot 10^{-6}$ ucgs, correspondiente casi a un 2% de Fe_3O_4)

Por tanto, estas rocas se configuran como un marcador magnético del Dominio Noroccidental de la Faja Pirítica, si bien no tan importante como los basaltos, al predominar en ellas la fracción paramagnética, como se observa claramente en la **figura 11**.

Se dispone de 5 muestras de diabasas con análisis químico recogidas en la hoja 937 en el Proyecto de 1995. Presentan un contenido de SiO_2 entre el 45 y el 50%, con porcentajes de potasio del 0.3 al 0.9%, y promedio del 0.6%. Presentan texturas desde intergranulares a subofíticas con abundantes ferromagnesianos en forma de piroxenos.

De las mediciones efectuadas con el espectrómetro terrestre se desprende que las diabasas son muy poco radiactivas, siendo el grupo de menor emisividad entre las litologías estudiadas. Los valores del K oscilan entre 0.1 y 2.6%, con media de 1% (**figura 12**). No se puede hablar de una moda definida en la serie de 11 mediciones radiométricas "in situ" realizada (podría ser del orden del 0.6%). La media está distorsionada con dos datos de muestras que en lámina exhiben potasificación de plagioclasas (muestras n° 1655 con un 2.6% K, y n° 1808 con un 2.1% K). El rango del U de las diabasas varía entre 0 y 1.7 ppm, con media de 0.6 ppm; existen dos modas (0.0 y 0.8 ppm **figura 12**; existen 3 valores de cada una en los 10 de la serie). El Th está comprendido entre 0.4 y 7.7 ppm, con media de 2.8 ppm, y moda de 3.5 ppm.

Son, por tanto, rocas de radiactividad muy similar a la de los basaltos, con contenidos casi iguales de potasio y algo menores de U y Th (**figura 12**), indiscernibles de los anteriores en los mapas radiométricos aéreos. En el diagrama K-Th los casos de potasificaciones corresponderían a datos con $K > 2\%$ (**figura 13**), que no se asocian con bandas de cizalla. Si se exceptúan estos dos casos, en los diagramas K-Th y U-Th se observa que los datos aparecen desagrupados ocupando una región similar a la de los basaltos más comunes. No es inmediato establecer relaciones radiométricas con los basaltos de radiactividades típicas ($K < 1\%$), pero los menores contenidos de tierras raras pesadas indican estadios menos evolucionados; asimismo la similar evolución del ratio K/Th en diabasas y basaltos sugiere la consanguineidad de estas rocas.

2.3.1.4 TRAQUIANDESITAS BASÁLTICAS

Se trata de una litología más bien accesoria en la cartografía del área de estudio, aunque quizás sea más abundante que lo que ésta señala. Se han recogido 12 muestras (10 con lámina, 4 también con probeta) en diques diversos. Tres muestras se han tomado en la zona de la mina del Risco.

Se ha obtenido un estrecho rango de densidades ($2.71-2.90 \text{ g/cm}^3$, **figura 11**) con media de 2.76 g/cm^3 .

Las susceptibilidades medidas son bimodales ($kmp=66 \cdot 10^{-6}$ ucgs, en 8 datos paramagnéticos), existiendo 4 muestras ferromagnéticas en el rango $3200-3700 \cdot 10^{-6}$ ucgs, con promedio kmf2 de 3403 unidades (1.3% de Fe_3O_4). Por consiguiente, se trata de rocas que pueden producir anomalías magnéticas si alcanzan extensiones apreciables. Todas las muestras de la zona del Risco son paramagnéticas.

Sólo se han realizado 4 medidas radiométricas "in situ", con promedios de K-U-Th de 1.2%-1.6 ppm-7.5 ppm, los más elevados entre las rocas que se han considerado básicas (**figura 12**). En los espacios K-Th y U-Th de la **figura 13** se observa que los datos corresponden a los estadios más evolucionados de las volcanitas básicas. Los dos datos más elevados de potasio no se asocian con bandas de cizalla.

2.3.2. ROCAS VOLCÁNICAS ÁCIDAS

2.3.2.1 DACITAS

Las muestras de dacitas (77 en total, 61 de ellas con lámina y 8 también con probeta) se han recogido mayoritariamente, igual que las andesitas, en la Fm. Andesítico-Dacítica ampliamente representada en el área del proyecto, en la unidad de Gibraltar-Panera (faja central E-O en la hoja del Cerro de Andévalo, nº 937, y centro-Sur en la de Paymogo, nº 936; 52 muestras corresponden a la hoja 937 y 16 a la 936). La Formación está constituida por rocas masivas y por conglomerados y epiclastitas de composición intermedia, existiendo un gran problema para distinguir petrográficamente andesitas y dacitas, las cuales, muy a menudo, son casi imposibles de diferenciar cartográficamente. Las dacitas también afloran con frecuencia en la Unidad de Concepción (láminas de Lomero-Las Palomeras y S. Telmo; 7 datos)

La densidad aparente oscila en un rango entre 2.48 y 2.86 g/cm^3 , con un histograma de densidades agrupado en torno a una media de 2.73 g/cm^3 y moda del mismo valor (**figura 14**; se insinúa una moda superior a 2.80 g/cm^3 , de tendencia andesítica). Se trata de rocas de densidad intermedia, capaz de producir anomalías gravínicas, igual que las andesitas, si los volúmenes implicados no son pequeños (esto no debe sorprender; existen referencias de sondeos mineros de los que se desprende que hay que atribuir a estas rocas notorias anomalías de gravedad). De la misma forma que las andesitas, en el mapa regional de Anomalías de Bouguer las dacitas tienden a situarse en zonas de gradiente, o al menos no marcan máximos netos en un entorno con anomalías gravimétricas importantes.

En cuanto a los resultados de susceptibilidad, son rocas claramente paramagnéticas. Los 77 ejemplares muestran un rango de $2-135 \cdot 10^{-6}$ ucgs, con una media paramagnética $kmp=36 \cdot 10^{-6}$ ucgs de, valores todos ellos muy similares a los de las andesitas. Por tanto, se trata de rocas que no deben producir anomalías magnéticas. Como se indicó más arriba, en el mapa de campo magnético reducido al polo la Fm. Andesítico-Dacítica alberga algunas anomalías importantes (debidas a diabasas y basaltos) pero no exhibe una cartografía magnética precisa.

Las dacitas son de radiactividad intermedia-baja. Los valores del K oscilan entre 0.6 y 4.4%, con media de 1.6% (**figura 15**). La moda es del 1.4% (13 veces se presenta este valor en la serie de 46 mediciones). En las dacitas, la media de potasio (frente al rango o la moda) puede ser el estadístico de mayor representatividad, pues apenas si se han registrado potasificaciones en estas muestras; existen dos datos con $2.5 < \%K < 3.5$ y otro con $\%K > 4$ (muestra n° 1626, no asociada a banda de cizalla).

El rango del Th de las dacitas varía entre 3.9 y 12.2 ppm, con media de 8.0 ppm; existen dos modas de 7 y 9 ppm (**figura 15**, con 8 datos cada una de los 47 de la serie). El U está comprendido entre 0.1 y 4.7 ppm, con media de 1.5 ppm. La moda de U es de 1.3 ppm (8 datos, **figura 15**), existiendo dos datos “anómalos” de U, con 3 y 5 ppm, aproximadamente.

En general, puede decirse que las medias y los valores modales de K-U-Th (1.4%, 1.3 ppm, 7-9 ppm, respectivamente), si bien no son raros para este tipo de rocas, parecen ligeramente bajos; deberían haberse registrado estadísticos algo más altos, v.g., más próximos al 2% en el caso del potasio. En el extremo superior, los valores altos son escasos en los tres elementos radiactivos. En el diagrama K-Th se observa el recorrido radiométrico de estas rocas, con modestos enriquecimientos en Th (la mayoría de valores comprendidos entre $1 < \%K < 2$, y $Th < 10$ ppm). Sólo existe una muestra que podría considerarse claramente potasificada ($K = 4.4\%$; no se ubica en banda de cizalla como ya se ha indicado). En ninguno de los diagramas U-Th y K-Th (**figura 16**) se observan tendencias que permitan establecer relaciones radiométricas netas con las riolitas y tobas ácidas; en el espacio K-Th las dacitas con $1.3 < \%K < 2.8$ podrían formar un grupo evolutivo común con la mayoría de las tobas y las riolitas con $K < 4\%$; en el espacio U-Th la línea de tendencia representada corresponde a las riolitas: las dacitas se sitúan mayoritariamente bajo esta línea.

En el mapa radiométrico ternario las dacitas no destacan por su radiactividad, de modo que son prácticamente casi inseparables de las andesitas (¡y a la vez, éstas son de difícil diferenciación respecto a los basaltos!). Ya se ha indicado que la formación Andesítico-Dacítica muestra tonos no saturados de baja intensidad, ligeramente más elevados que los de los basaltos; los tonos potásicos, de tendencia dacítica, y que sustituirían a las áreas blancas típicas de rocas basálticas, delatan que no se trata de tales.

2.3.2.2 RIOLITAS

Estas rocas no se presentan en grandes afloramientos en la zona de estudio, apareciendo muy mezcladas con tobas y rocas epiclásticas, por ejemplo en la Unidad de Concepción (lámina de S. Telmo). Muchos de estos afloramientos son de carácter olistostrómico, de manera que las muestras de riolitas (69 en total, de ellas 58 con lámina y 12 también con probeta) se han recogido de forma dispersa en el área del Proyecto (19 en la Unidad de Concepción, 20 en la de Gibraltar-Panera, y 25 en el C.V.S. de la hoja 936, correspondientes al proyecto de 1995).

La densidad aparente de las riolitas está comprendida en un rango entre 2.32 y 2.75 g/cm³, con un histograma de densidades que exhibe una media de 2.61 g/cm³ y moda de 2.59 g/cm³. Esta última quizás sea más representativa que la media por las colas del histograma de densidades (**figura 14**), la superior (2.71 g/cm³) debida a rocas riódacíticas. Las riolitas son rocas de densidad baja, que se asociarán a anomalías gravíficas negativas, como las que existen, v.g., en la Unidad de Concepción.

En cuanto a los resultados de susceptibilidad, son rocas de tendencia bimodal. El rango es de $3-2857 \cdot 10^{-6}$ ucgs, de modo que la mayoría de las muestras (54 entre 69) son paramagnéticas, con $kmp = 32 \cdot 10^{-6}$ ucgs (**figura 14**). Existe una facies oscura (riolitas negras) moderadamente ferromagnética, con 6 datos entre $750-1500 \cdot 10^{-6}$ ucgs ($kmf2 = 1107 \cdot 10^{-6}$ ucgs), correspondiente a un

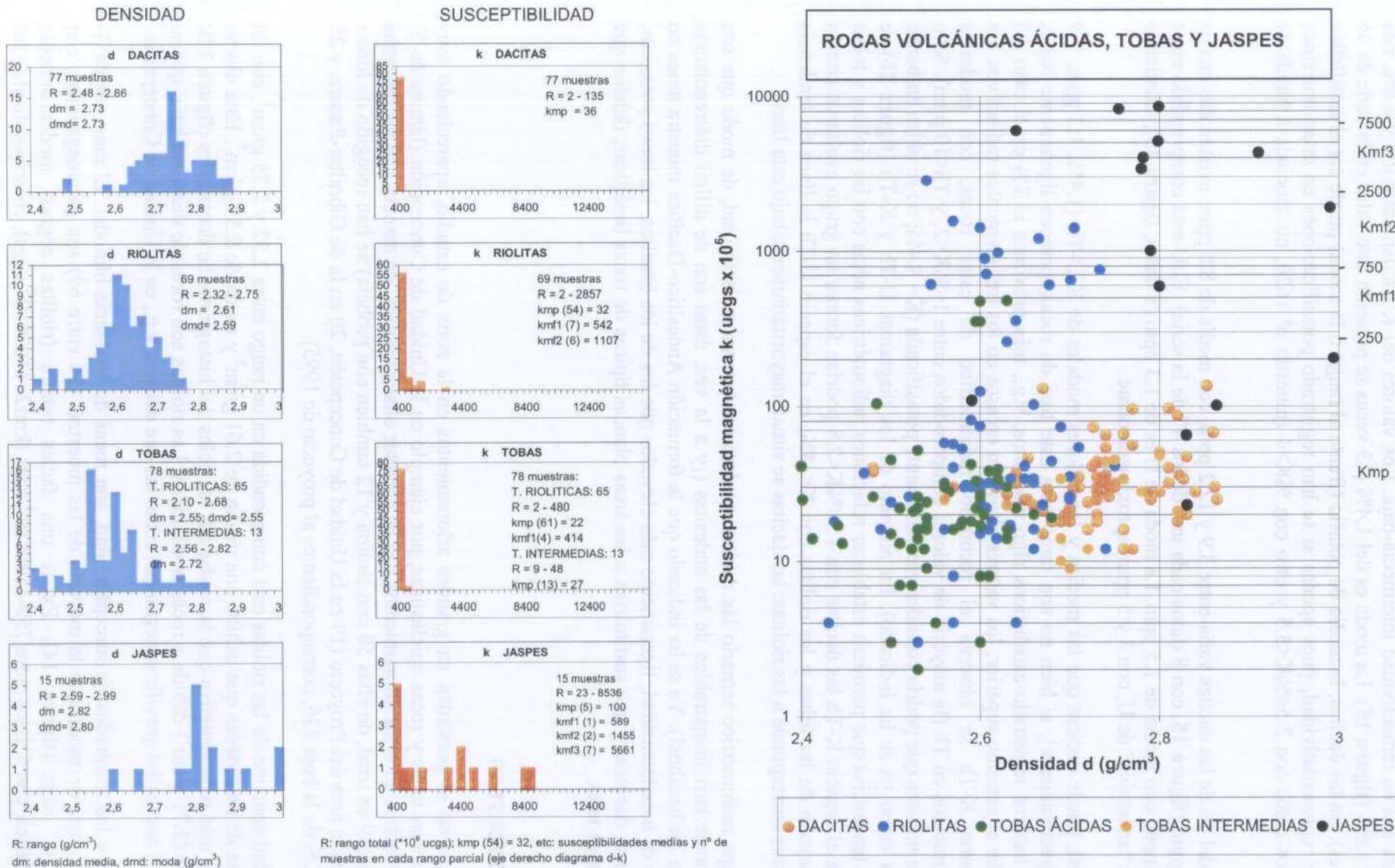


Figura 14. Histogramas de densidad, susceptibilidad y diagrama d - k de las rocas volcánicas ácidas, tobas y jaspes (239 muestras)
(Los rangos a los que se refieren las medias de susceptibilidad se indican en la barra derecha del diagrama d-k)

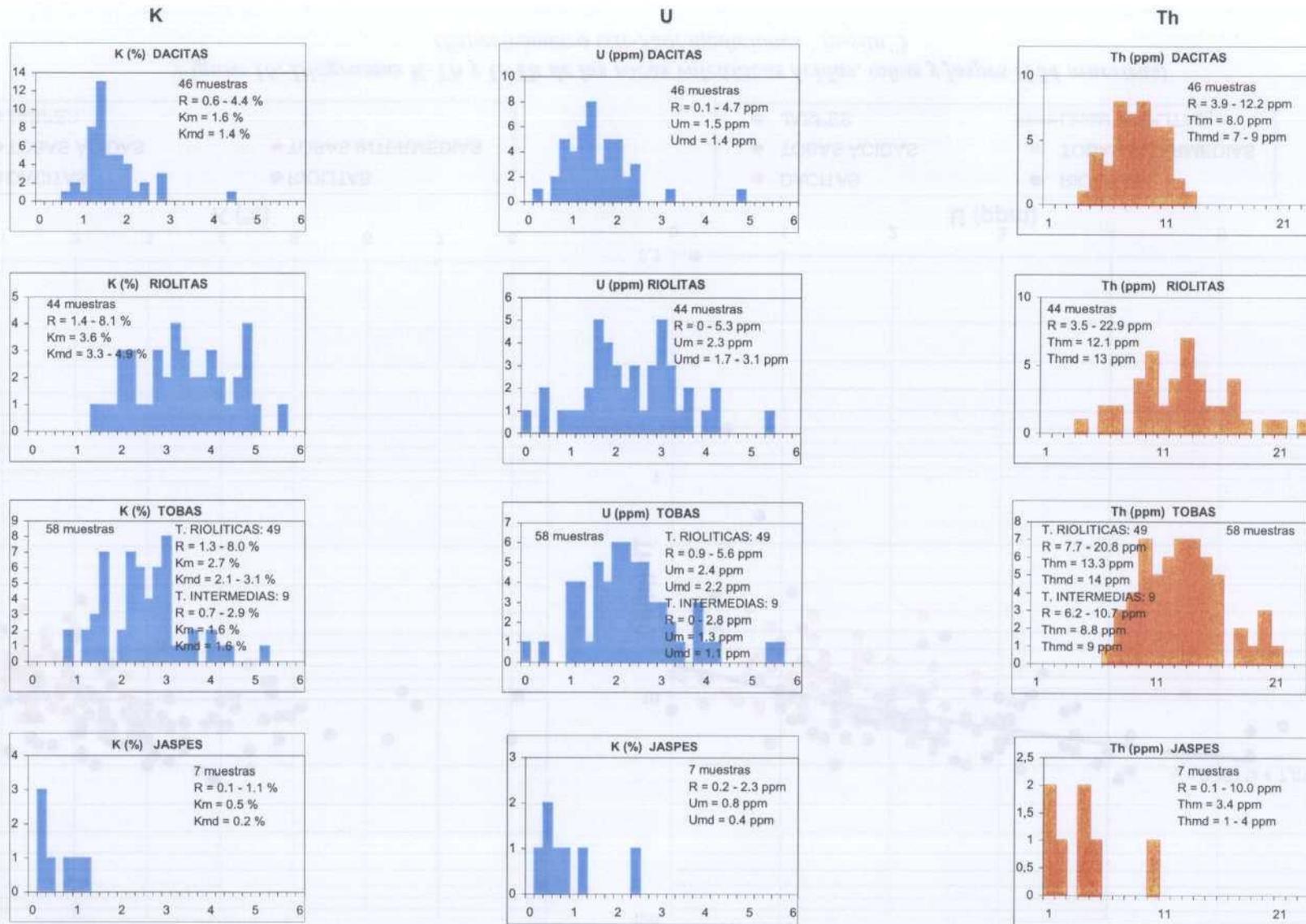


Figura 15. Histogramas de K-U-Th de las rocas volcánicas ácidas, tobas y jaspes (154 muestras) (Espectrómetro GR-320: mediciones "in-situ")

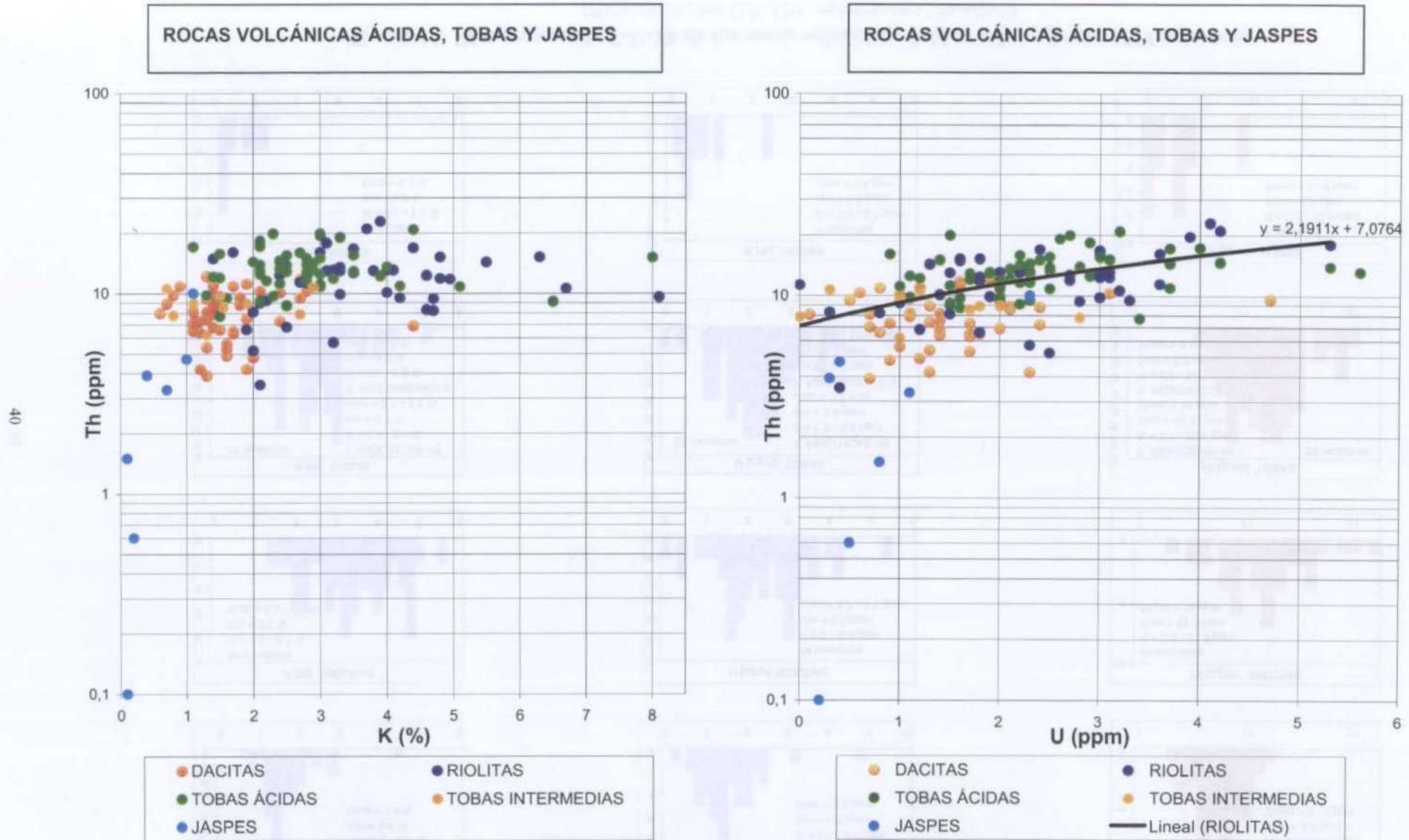


Figura 16. Diagramas K-Th y U-Th de las rocas volcánicas ácidas, tobas y jaspes (154 muestras)
(Espectrómetro GR-320: mediciones "in-situ")

0.4% de Fe_3O_4 . El máximo en esta facies es $2857 \cdot 10^{-6}$ ucgs (1% de Fe_3O_4). Por tanto, se trata de rocas que no deben producir anomalías magnéticas, salvo por lo que respecta a las riolitas negras en afloramientos masivos. En el mapa regional de campo magnético reducido al polo no se pueden asociar anomalías a esta facies, que no aparece separada en la cartografía.

Se dispone de análisis químico de 13 de las 15 muestras de riolitas recogidas en la hoja 937 en el Proyecto de 1995. Se caracterizan por presentar contenidos entre el 70 y el 79% de SiO_2 , y variables de K_2O , aunque superiores en general al 3% debido a la gran cantidad de feldespato potásico que suelen albergar. En ocasiones los valores de este elemento son bajos, lo que es posiblemente debido a procesos posteriores en forma de desvitrificaciones de la matriz y a efectos de la tectónica (milonitaciones). Además, hay que señalar que existe una familia de riolitas sódicas bajas en K_2O (con proporciones en potasio del orden del 1-2% y elevado contenido en Na_2O , del 4-7%; algunas de ellas podrían considerarse queratófidos).

Se han realizado 44 determinaciones radiométricas "in-situ". Los datos de potasio de las riolitas obtenidos con el espectrómetro terrestre son muy interesantes. Las concentraciones del potasio oscilan en un amplísimo rango entre 1.4 y 8.1%, con media de 3.6% (**figura 15**). Las modas son 3.3% y 4.9%, pero dado que estos valores sólo se presentan 4 veces en 44 mediciones, las modas registradas no son representativas en la muestra (pueden existir modas tan bajas como el 2% K). Fuera del histograma quedan tres datos muy elevados en potasio ($\text{K} > 6\%$, **figura 16**) ubicados en las proximidades de bandas de cizalla; el posible interés minero de estas potasificaciones (ya sea en esta u otra litología ácida) será expuesto en el estudio de detalle relativo a La Gallega.

El rango del Th de las riolitas varía entre 3.5 y 22.9 ppm; la media es de 12.1 ppm y la moda de 13 ppm (**figura 15**; 7 datos de los 44 de la serie). Existen 3 valores elevados de torio, en el entorno de las 20 ppm. El U está comprendido entre 0.0 y 5.3 ppm, con media de 2.3 ppm. Existen dos modas de U, de 1.7 y 3.1 ppm (con 5 datos cada una, **figura 15**). Tres valores de uranio son superiores a las 4 ppm.

En general, puede decirse que las riolitas muestran una variabilidad radiométrica muy grande, siendo ésta, junto con la mayor radiactividad que exhiben entre todas las volcanitas estudiadas, sus dos características principales. En el diagrama K-Th (**figura 16**) se observa el amplísimo recorrido radiométrico de las riolitas, que van desde un grupo mayoritario con $\text{K} < 4\%$ y elevados enriquecimientos en Th como corresponde a rocas más evolucionadas, pasando por una agrupación con $4 < \text{K} < 5$, y terminando con las muestras ultrapotasificadas ($\text{K} > 6\%$). Como se ha indicado, en el espacio K-Th las riolitas con $\text{K} < 4\%$, junto con las dacitas típicas ($1.3 < \text{K} < 2.8$), y las tobas ácidas podrían formar una tendencia común que manifestaría su relación genética. En el espacio U-Th las litologías están muy mezcladas; la línea de tendencia representada (**figura 16**) corresponde a las riolitas. Los contenidos en tierras raras radiactivas de las riolitas son intermedio-bajas, de modo que las tobas ácidas tienden a ser más ricas en ellas (sobre todo en Th) que las riolitas, aunque sean algo menos potásicas que éstas. Las tobas intermedias son de radiactividad similar a la de las dacitas.

Dentro del contexto C.V.S., en el mapa radiométrico ternario las riolitas vendrán caracterizadas, más que por saturaciones en los tres elementos, por puntos altos (spots) de potasio. En el mapa ternario las riolitas raramente mostrarán radiactividades intermedio-bajas, que serán frecuentes sobre las dacitas (promedios de K-U-Th de 1.6-1.5-8.0 en dacitas frente a 3.6-2.3-12.1 en riolitas). Sorprendentemente, en el mapa ternario áreas de radiactividad intermedio-baja también aparecen con frecuencia sobre masas de tobas ácidas (con valores radiométricos en éstas del orden de: $1.3 < \text{K} < 2.5\%$, $1 \text{ ppm} < \text{U} < 2.5 \text{ ppm}$, $7 \text{ ppm} < \text{Th} < 12 \text{ ppm}$), rocas que se describen a continuación.

2.3.2.3 TOBAS

Distinguimos aquí las tobas ácidas de las intermedias.

Las tobas ácidas, de las que se dispone de 65 muestras (42 con lámina y 12 también con probeta), afloran con frecuencia en la Unidad de Concepción, donde se han recogido 21 de dichas muestras. También se han muestreado en la Unidad de Gibraltar-Panera (18 casos) y en la de Riotinto (14 casos).

El grupo de tobas y rocas epiclásticas ácidas es de densidad y susceptibilidad similar a las de las riolitas.

La densidad aparente de las tobas ácidas está comprendida entre un mínimo de 2.10 g/cm^3 y un máximo de 2.68 g/cm^3 , con un histograma de densidades muy desagrupado que exhibe una media y una moda de 2.55 g/cm^3 (**figura 14**). Igual que las riolitas, se trata de rocas de densidad baja, que se asociarán a anomalías gravíficas negativas, como las que caracterizan la unidad de Concepción, donde son rocas mayoritarias.

En cuanto a los resultados de susceptibilidad, son rocas casi totalmente paramagnéticas. El rango es de $2 - 480 \cdot 10^{-6}$ ucgs; 61 de las 65 muestras son de carácter paramagnético, con $kmp = 22 \cdot 10^{-6}$ ucgs (**figura 14**). Existen 4 datos muy ligeramente ferromagnéticos, con $kml = 414 \cdot 10^{-6}$ ucgs, correspondiente a un 0.2% de Fe_3O_4 . Por tanto, se trata de rocas que no deben producir anomalías magnéticas. En el mapa regional de campo reducido al polo, las tobas aparecen usualmente en zonas de muy bajo relieve magnético.

Se dispone de análisis químico de 8 de las 13 muestras de tobas y epiclastitas ácidas recogidas en la hoja 937 en el Proyecto de 1995. Se presentan íntimamente ligadas a las riolitas y las dacitas, correspondiendo a un volcanismo ácido piroclástico que ha sufrido procesos sedimentarios y tectónicos con retrabajamiento y tectonización. En general, se trata de tobas ácidas riolíticas, pero en ciertas zonas son verdaderos aglomerados o brechas, como en el denominado Aglomerado del Cerro. Presentan valores similares de SiO_2 a los de las riolitas masivas, y de K_2O algo inferiores, y casi siempre con valores bajos de susceptibilidad magnética ($< 100 \cdot 10^{-6}$ u.c.g.s); si existen anomalías magnéticas aéreas dentro de esta formación van asociadas a algunos lentejones de jaspes o a los *sills* básicos que están estratificados con ellas.

Las tobas ácidas son de radiactividad intermedia-alta. Los valores del potasio radiométrico oscilan entre 1.3 y 8.0%, con media de 2.7% (**figura 15**). La moda es del 3.1% (8 veces se presenta este valor en la serie de 49 mediciones). Existen dos datos muy elevados en potasio ($K = 6.5$ y 8.0% , **figura 16**), ubicados en las proximidades de bandas de cizalla.

El rango del Th de las tobas es 7.7 - 20.8 ppm, con media de 13.3 ppm; la moda es de 14 ppm (**figura 15**; 7 datos de los 49 de la serie). Existen 4 valores elevados de torio, en el entorno de las 20 ppm. El U está comprendido entre 0.9 y 5.6 ppm, con media de 2.4 ppm. La moda de U es de 2.2 ppm (6 datos, **figura 15**). Hay 4 datos en el entorno de las 4 ppm y dos superiores a las 5 ppm.

Llama la atención el bajo contenido de potasio de las tobas ácidas, inferior en un 0.9% de promedio al de las riolitas (2.7 frente al 3.6%), que no debe ser atribuido a problemas de muestreo. Los contenidos de U y Th (ambos algo superiores a los de las riolitas) son más normales para este tipo de rocas. Como se ha indicado, en el espacio K-Th las tobas ácidas junto con las riolitas con $K < 4\%$, y las dacitas típicas ($1.3 < K < 2.8$), podrían formar una tendencia común que manifestaría su relación genética.

En el mapa radiométrico ternario aeroportado, junto con zonas de radiación elevada debidas a tobas ácidas, son numerosas las áreas de estas rocas que no destacan por su radiactividad, lo que no deja de ser sorprendente. Aunque la radiactividad de las tobas ácidas, según los datos en tierra, es superior a la de las dacitas y próxima a la de las riolitas, en la imagen ternaria existen amplias zonas cartografiadas como epiclástitas ácidas que apenas si muestran algunos "spots" radiactivos mencionables (v.g., en la Unidad de Concepción).

Por lo que respecta al grupo de rocas epiclásticas intermedias (13 muestras; 2 de la Unidad de Concepción, 7 de la Unidad de Gibraltar-Panera y una de la de Riotinto), es de densidad y susceptibilidad muy similar a las de las dacitas. La densidad aparente de las tobas oscila entre un mínimo de 2.56 g/cm^3 y un máximo de 2.82 g/cm^3 , con media de 2.72 g/cm^3 y una moda de 2.71 g/cm^3 (**figura 14**). Las susceptibilidades son todas paramagnéticas. El rango es de $9 - 48 \cdot 10^{-6}$ ucgs, con $kmp=27 \cdot 10^{-6}$ ucgs (**figura 14**). En la muestra regional no se han encontrado potasificaciones en tobas intermedias (rango de potasio de 0.3-2.9% con media y moda de 1.6%). La situación en la zona de La Gallega es completamente diferente como veremos. Los contenidos de U y Th son los habituales para este tipo de rocas (**figura 15**; 1.3 y 8.8 ppm de medias respectivas).

2.3.2.4 JASPES Y CHERT

Estas rocas aparecen muy mezcladas con todas las litologías del C.V.S., y aunque no se suelen presentar en masas de gran volumen, son importantes desde el punto de vista petrofísico al tratarse de una litología ferromagnética frecuentemente asociada a las mineralizaciones de la Faja. Se han muestreado 15 jaspes (14 con lámina y 5 también con probeta), de ellos 6 en la Unidad de Concepción, y 6 de la Unidad de Gibraltar-Panera.

La densidad aparente de los jaspes está comprendida entre 2.59 y 2.99 g/cm^3 , con un histograma de densidades muy desagrupado que adolece de cierta escasez de datos (15) para la heterogeneidad de esta litología. La media es de 2.82 g/cm^3 y la moda de 2.80 g/cm^3 (**figura 14**). Se trata de rocas de densidad alta, pero que usualmente no se cartografían en el mapa de Bouguer por su escaso desarrollo.

En cuanto a los datos de susceptibilidad, son rocas de clara tendencia polimodal. El rango es de $23-8536 \cdot 10^{-6}$ ucg. Existen 5 muestras paramagnéticas, con $kmp=100 \cdot 10^{-6}$ ucgs (**figura 14**). La moda ferromagnética más importante, $kmf3(7)=5661 \cdot 10^{-6}$ ucgs, corresponde a contenidos de Fe_3O_4 elevados, superiores al 2%. Por tanto, se trata de rocas con las mayores proporciones de magnetita entre las muestreadas, que deben producir anomalías magnéticas intensas y de pequeña longitud de onda. En efecto, en el mapa regional de campo magnético reducido al polo se pueden asociar a esta litología numerosas anomalías puntuales, que sirven de guía de prospección en zonas con indicios (ya veremos lo que ocurre en el detalle de la zona de La Gallega, donde los jaspes son abundantes).

Se dispone de 5 muestras de jaspes con análisis químico recogidas en la hoja 937 en el Proyecto de 1995. Presentan un contenido de SiO_2 entre el 75 y el 95%, con porcentajes de potasio del 0.1 al 0.4%, y promedio del 0.6%. Estas rocas con colores que varían desde negras y grises a rojizas, masivas y muy duras, corresponden a sedimentos silíceos con mayor a menor contenido en impurezas; los cherts son negros y grises y los jaspes pueden presentar colores rojizos y en ocasiones verdosos (cloritos como impurezas), y están asociados en toda la serie volcánica. El paso de unos a otros se observa a escala de afloramiento, ocurriendo en mayor abundancia junto a las rocas epiclásticas ácidas. El origen del SiO_2 es controvertido, pudiendo ser tanto volcánico (sobre todo en los jaspes) como biogénico. La radiactividad de los jaspes es muy baja (7 datos en **figura 15**, su promedio radiométrico de K es del 0.5%, el de U de 0.8 ppm y de Th 3.4ppm), de modo que su prospección radiométrica no ofrece rasgos de interés.

De chert se dispone de 9 muestras (7 con lámina y 1 también con probeta). Son ligeros con media de 2.64 g/cm^3 (rango igual a $2.53 - 2.72 \text{ g/cm}^3$). A diferencia de los jaspes, son totalmente paramagnéticos ($kmp=28 \cdot 10^{-6}$ ucs; rango de $0 - 74 \cdot 10^{-6}$ ucs); y algo más radiactivos (2%, 2 ppm, y 9.5 ppm de medias respectivas de K-U-Th). Estas diferencias sugieren un origen distinto de jaspes y chert.

2.3.3. ROCAS VOLCÁNICAS: RESUMEN Y DISCUSIÓN

Las rocas volcánicas muestreadas presentan una amplia gama de densidades entre las correspondientes a términos básicos y ácidos y una polimodalidad magnética clara en los grupos más básicos y en los jaspes (diagramas bivariantes de las **figuras 10, 11 y 14**, y **tabla VII**).

La diferenciación de todo el grupo de litologías en el diagrama densidad-susceptibilidad se produce tanto en la gama alta de susceptibilidades, con las modas magnéticas de riolitas en el extremo ligero y de diabasas y espilitas en el pesado, como en la tendencia paramagnética general, donde riolitas y tobas ácidas por un lado, y andesitas, espilitas y diabasas por otro, quedan separadas por rangos de densidad.

Las susceptibilidades magnéticas son bajas en La Fm. Andesítico-dacítica, en las tobas ácidas y epiclastitas andesíticas, y en la mayor parte de las riolitas (salvo en las facies oscura), pero no en espilitas, diabasas y jaspes. Estas susceptibilidades explican, por el orden citado, las anomalías magnéticas de intensidad moderada-alta y bastante consistentes con la cartografía magnética de estas rocas en las formaciones/unidades que las albergan. En conjunto, las volcanitas básicas más pesadas son claramente ferromagnéticas y responsables de las anomalías magnéticas más acusadas.

Las rocas intermedias y, sobre todo, los *sills* básicos causarán las anomalías de gravedad de la región estudiada.

Los datos de radiometría gamma natural "in situ", a la vez que a la vez que implican complejidades interpretativas, son muy interesantes, especialmente por lo que se refiere a valores extremos (v.g., potasificaciones). Los datos son complejos por que indican una gran superposición de contenidos radiactivos entre litologías diferentes (**tabla VIII**), con importantes solapamientos entre rocas básicas e intermedias (e incluso ácidas), lo que no favorece su separación radiométrica, y por tanto su cartografía aeroportada; por ejemplo, la diferenciación desde el aire de masas de basaltos, de andesitas y de dacitas. De ello existen numerosos ejemplos en los mapas regionales. Por otro lado, no deja de sorprender que la moda alta de potasio en basaltos pudiera ser similar a la baja en riolitas (**tabla VIII**), lo que se repite en la muestra de detalle del área de La Gallega. Otro aspecto a tener en cuenta es la baja radiactividad general de las dacitas, así como la procedente del potasio de las tobas ácidas, lo que puede ser una característica regional del Dominio Noroccidental de la Faja Pirítica. En general, hay que señalar la dificultad del muestreo en tierra, por la ausencia de buenos afloramientos (placas extensas horizontales no alteradas) y el ruido radiométrico que ello comporta, pero este hecho no debe poner en duda las tendencias fundamentales del registro radiométrico "in situ".

Las potasificaciones afectan a la mayoría de las litologías muestreadas. Así, existen agrupaciones de rocas potasificadas (vg., sericitizadas) en basaltos y diabasas, claramente manifestadas en diagramas K-Th (**figura 13**). Las potasificaciones son más espectaculares en riolitas y tobas ácidas (**figura 16**), asociadas con frecuencia a bandas de cizalla. Se discutirá más extensamente su significado e implicaciones cuando se aborde el estudio de detalle de La Gallega. También son destacables algunos valores altos de uranio en dacitas, riolitas y tobas ácidas, y de torio en riolitas y tobas ácidas.

LITOLOGÍA	Ndk	kmi	kmx	kmp	kmf1	kmf2	kmf3	dmi	dmx	dm	dmd	Q
ANDESITAS	61	15	242	45	-	-	-	2.51	3.00	2.78	2.81-2.84	0.13 (24)
BASALTOS	46	27	6014	77	534	1283	3829	2.56	3.09	2.82	2.89	0.41 (23)
TRAQUIANDESITAS	12	28	3640	66	-	-	3403	2.71	2.90	2.76	2.73	-
DIABASAS	28	24	6508	65	-	1174	4656	2.63	2.99	2.87	2.95	0.24 (11)
TOTAL	147	15	6508					2.51	3.09	2.81		
DACITAS	77	2	135	36	-	-	-	2.48	2.86	2.73	2.73	0.22 (23)
RIOLITAS	69	3	2857	32	542	1107	-	2.32	2.75	2.61	2.59	1.25 (20)
TOTAL	146	2	2857					2.32	2.86	2.67		
TOBAS ÁCIDAS	65	2	480	22	414	-	-	2.10	2.68	2.55	2.55	0.26 (23)
TOBAS INTERMEDIAS	13	9	48	27	-	-	-	2.56	2.82	2.72	2.71	-
AGLOMERADOS	7	8	17	13	-	-	-	2.37	2.60	2.53	2.56	-
TOTAL	85	2	480					2.10	2.82	2.57		
JASPES	15	23	8536	100	589	1455	5661	2.59	2.99	2.82	2.80	3.23 (7)
CHERT	9	0	42	17	-	-	-	2.53	2.72	2.64	2.64	-

Tabla VII. Densidad y susceptibilidad de las volcanitas. Dominio Noroccidental de la Faja Pirítica

Ndk: n° de muestras. kmi, kmx: mínimo y máximo de susceptibilidad. Los rangos a los que se refieren los promedios de susceptibilidad son: $kmp < 250 \cdot 10^{-6}$ ucs; $250 < kmf1 < 750 \cdot 10^{-6}$ ucs; $750 < kmf2 < 2500 \cdot 10^{-6}$ ucs; $kmf3 > 2500 \cdot 10^{-6}$ ucs. dmi, dmx, dm, dmd: mínimo, máximo, media y moda de densidad en g/cm^3 . Q: mediana del parámetro de Koenigsberger; el valor de la mediana se refiere al n° de muestras indicado entre paréntesis. Ver Anexo 7.3.

LITOLOGÍA	Nrad	Kmi	Kmx	Km	Kmd	Umi	Umx	Um	Umd	Thmi	Thmx	Thm	Thmd
ANDESITAS	46	0.2	2.5	0.9	0.6	0.0	2.3	0.9	1.4	1.9	12.7	6.6	6.0
BASALTOS	24	0.1	2.5	0.9	0.4-2.0	0.0	2.6	0.8	0.6	0.8	8.5	4.9	6.0
TRAQUIANDESITAS	4	0.3	2.1	1.2	-	1.0	2.3	1.6	1.6	4.6	7.2	6.2	7.5
DIABASAS	11	0.1	2.6	1.0	0.6	0.0	1.7	0.6	-	0.4	7.7	2.8	3.5
TOTAL	85	0.1	2.6	0.9		0.0	3.6	0.8		0.4	16.1	5.7	
DACITAS	46	0.6	4.4	1.6	1.4	0.1	4.7	1.5	1.4	3.9	12.2	8.0	9.0
RIOLITAS	44	1.4	8.1	3.6	3.3-4.9	0.0	5.3	2.3	1.7-3.1	3.5	22.9	12.1	13.0
TOTAL	90	0.6	8.1	2.6		0.0	5.3	1.9		3.5	22.9	10.0	
TOBAS ÁCIDAS	49	1.3	8.0	2.8	2.1-3.1	0.9	5.6	2.4	2.2	7.7	20.8	13.3	14.0
TOBAS INTERMEDIAS	9	0.7	2.9	1.6	1.6	0.0	2.8	1.3	1.1	6.2	10.7	8.8	9.0
AGLOMERADOS	7	0.7	2.6	1.9	2.6	1.0	3.0	2.0	-	8.3	26.1	17.5	16.5
TOTAL	64	0.7	6.5	2.4		0.0	5.6	2.2		6.2	26.1	13.1	
JASPES	7	0.1	1.1	0.5	0.2	0.2	2.3	0.8	0.4	0.1	10.0	3.4	4.0
CHERT	5	1.2	2.9	2.0	1.3	1.3	2.7	2.0	1.7	7.5	11.2	9.5	9.0

Tabla VIII. Radiometría en tierra (%K, ppmU, ppmTh) de las muestras de volcanitas. Dominio Noroccidental de la Faja Pirítica

Nrad: n° de muestras con medida "in situ". Los subíndices mi, mx, m, y md referencian el mínimo, máximo, media y moda de K, U y Th respectivamente.

2.3.4. ROCAS SEDIMENTARIAS Y METAMÓRFICAS

2.3.4.1 ARENISCAS Y GRAUVACAS

Distinguimos aquí las areniscas (ss) de las grauvacas.

Se dispone de 18 muestras de areniscas (12 láminas y 1 probeta), recogidas en las Unidades de Concepción (3), de Gibraltar-Panera (9) y Gafo (4).

La densidad aparente oscila entre un mínimo de 2.32 g/cm^3 y un máximo de 2.76 g/cm^3 , con un histograma de densidades desagrupado que exhibe una media de 2.57 g/cm^3 (**figura 17**; la moda no está bien caracterizada). Igual que las volcanitas ácidas, se trata de rocas de densidad baja, que se asocian a anomalías gravíficas negativas.

En cuanto a susceptibilidades, son rocas totalmente paramagnéticas. El rango es de $8 - 54 \cdot 10^{-6}$ ucgs, con $kmp=27 \cdot 10^{-6}$ ucgs. Por tanto, se trata de rocas que no deben producir anomalías magnéticas. En el mapa regional de campo reducido al polo las areniscas se ubican usualmente en zonas de muy bajo relieve magnético.

Las areniscas son de radiactividad intermedia-baja. Los valores del K oscilan entre 0.2 y 2.2%, con media de 1.2% (**figura 18**). En la serie de 7 mediciones efectuadas en tierra existen dos datos elevados en potasio ($K > 2.0\%$). El rango del Th es 8.7 - 14 ppm y la media 10.4 ppm. El U está comprendido entre 0.6 y 3.3 ppm, con media de 2.1 ppm. De este elemento hay 3 datos en el entorno de las 3 ppm.

Las 32 grauvacas (28 láminas y 9 probetas) se han recogido en las Unidades de Gibraltar-Panera (11), Duque (2), Gafo (4) y en el Culm de las hojas 936 (9), 938 (1), 958 (3) y 959 (4); el Culm fue muestreado en el proyecto de 1995.

La densidad aparente de estas rocas exhibe un rango entre 2.33 g/cm^3 y 2.70 g/cm^3 , con un histograma de densidades desagrupado que exhibe una media de 2.55 g/cm^3 y moda de 2.53 g/cm^3 (**figura 17**); características todas ellas muy similares a las de las areniscas ss. Las grauvacas son paramagnéticas. El rango de susceptibilidad es $0 - 38 \cdot 10^{-6}$ ucgs, con $kmp=19 \cdot 10^{-6}$ ucgs.

La radiactividad de las grauvacas (15 datos) es superior a la de las areniscas ss. Los valores del K oscilan entre 1.3 y 4.8% y la media y la moda de 2.6% (**figura 18**). Existe un dato elevado de potasio, próximo al 5.0%. El rango del Th es 6.8 - 19.7 ppm, con media de 13.2 ppm. Existe un valor elevado en el entorno de 20 ppm. El U está comprendido entre 1.6 y 4.2 ppm, con media de 2.6 ppm. De este elemento hay 2 datos en el entorno de las 4 ppm. En los histogramas radiactivos de las grauvacas se sugiere una tendencia a la bimodalidad, a la división en dos grupos, uno de radiactividad similar a la de las areniscas ss, y otro bastante más radiactivo, sobre todo en términos de K- Th (**figura 19**). Esta división en dos grupos queda confirmada por las respuestas contenidas en el mapa radiométrico ternario aeroportado procedentes de grauvacas de diversas zonas, como sucede por ejemplo en toda la faja Norte de la hoja 959.

2.3.4.2 CUARCITAS

Se dispone de 8 muestras de cuarcitas (8 láminas y 2 probetas), recogidas en las Unidades de Gibraltar-Panera (1) y Duque (2) en la hoja 937. Se muestrearon las restantes en las hojas 936 (1), 958 (2) y 959 (2); durante el proyecto de 1995.

La densidad aparente oscila entre un mínimo de 2.48 g/cm^3 y un máximo de 2.66 g/cm^3 , con media de 2.59 g/cm^3 .

47

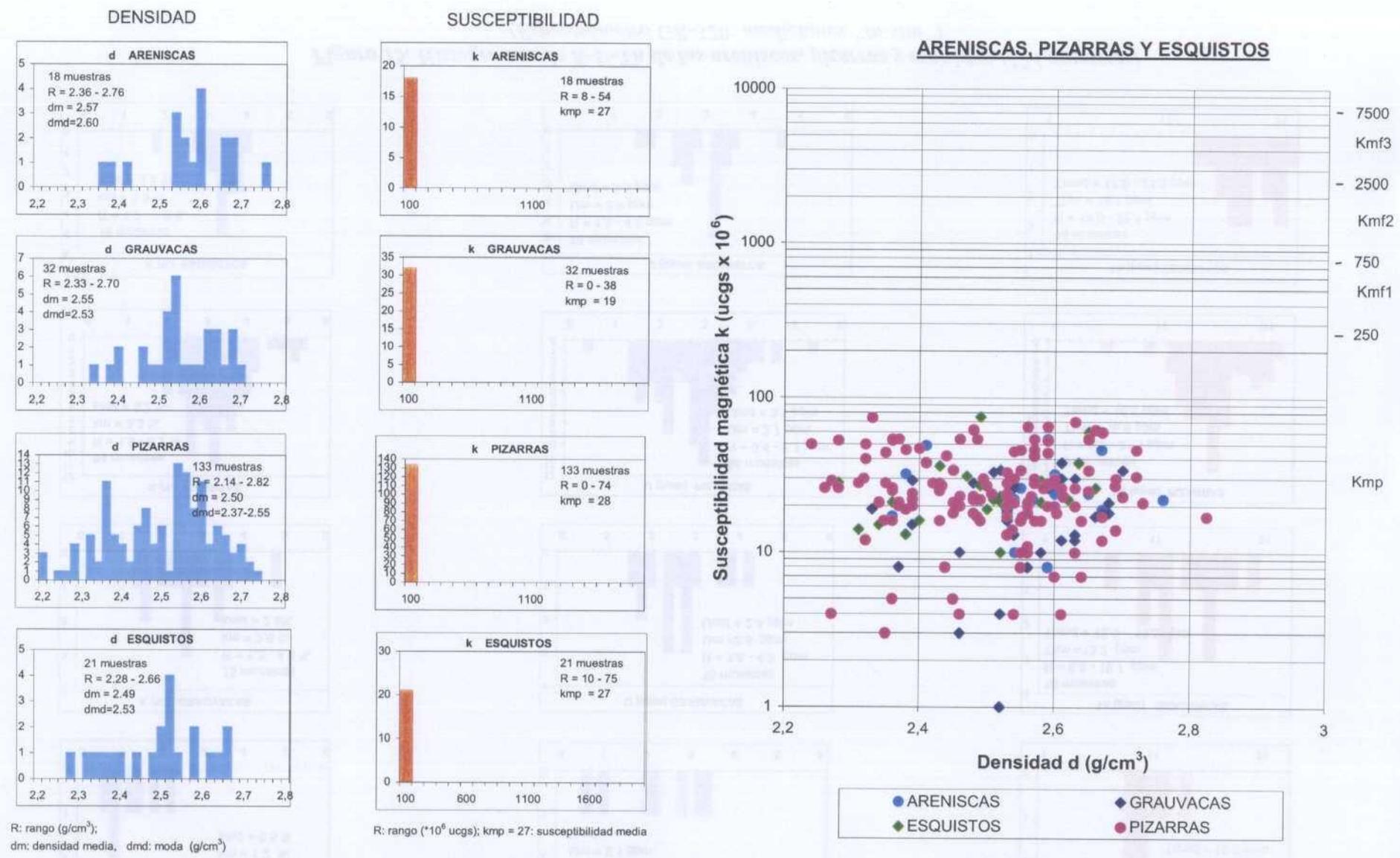


Figura 17. Histogramas de densidad, susceptibilidad y diagrama d - k de areniscas, esquistos y pizarras (209 muestras)
(Los rangos a los que se refieren las medias de susceptibilidad se indican en la barra derecha del diagrama d-k)

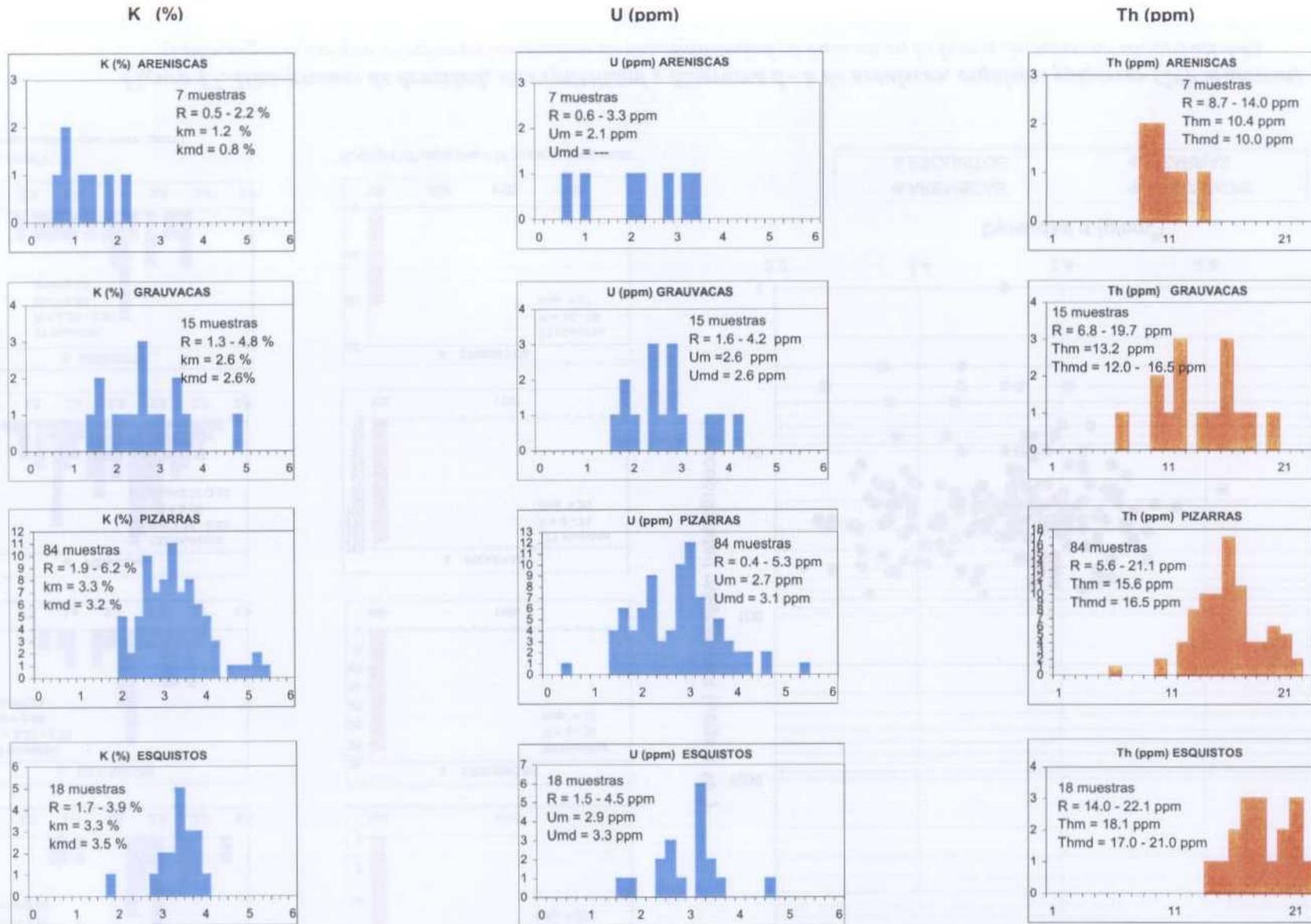


Figura 15. Histogramas de K-U-Th de las areniscas, pizarras y esquistos (124 muestras) (Espectrómetro GR-320: mediciones "in-situ")

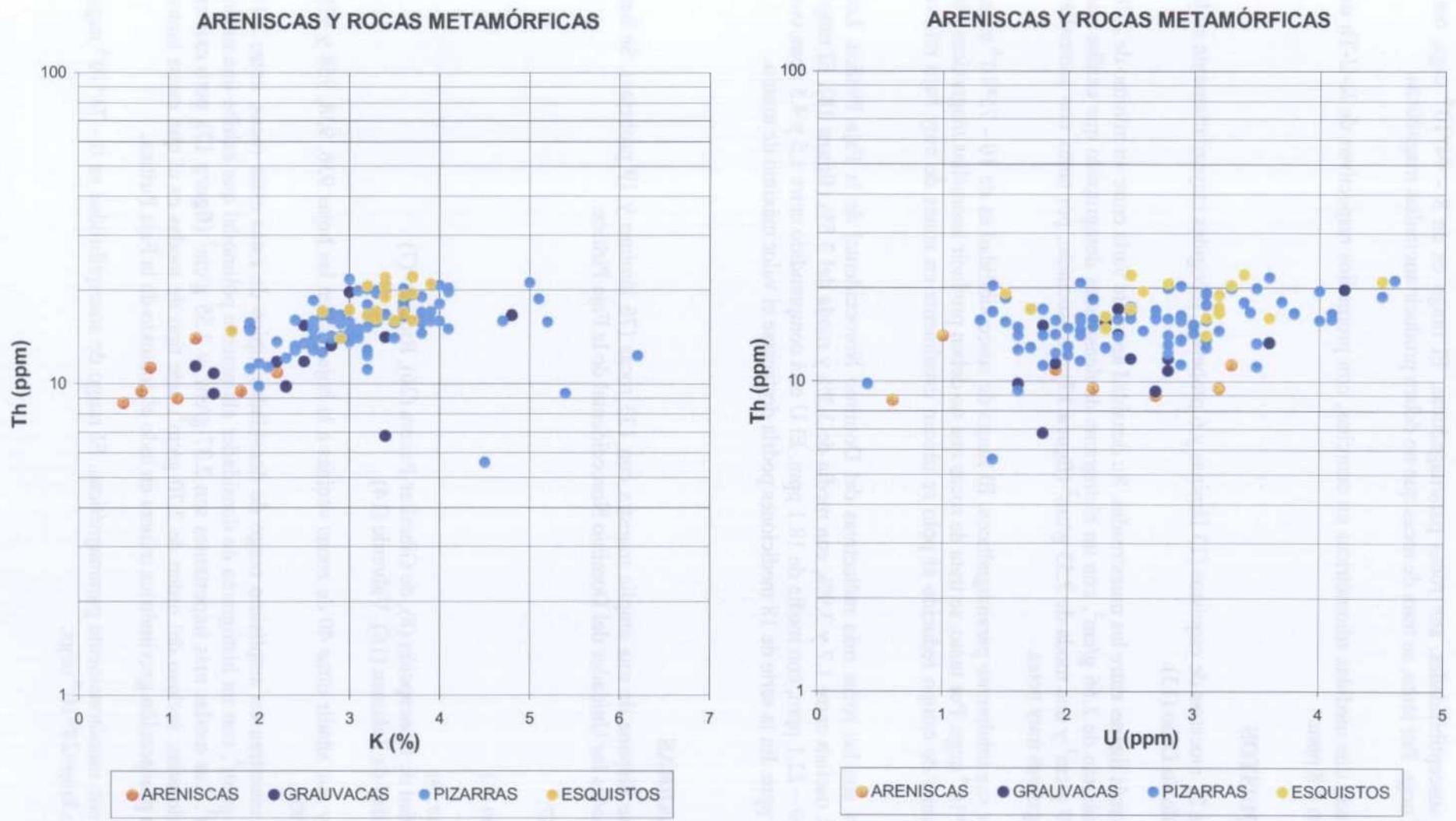


Figura 19. Diagramas K-Th y U-Th de las areniscas, pizarras y esquistos (124 muestras) (Espectrómetro GR-320: mediciones "in-situ")

En cuanto a susceptibilidades, son rocas paramagnéticas. El rango es de $8 - 94 \cdot 10^{-6}$ ucgs, con $kmp=37 \cdot 10^{-6}$ ucgs. Por tanto, se trata de rocas que no deben producir anomalías magnéticas.

Se han realizado dos medidas radiométricas en cuarcitas, con promedios respectivos de K-U-Th de 0.9%, 1.8 ppm 8.8 ppm.

2.3.4.3 ESQUISTOS

Se dispone de 21 muestras de esquistos (13 láminas y 6 probetas), recogidas mayoritariamente en la Unidad de Pulo do Lobo (13).

Son las rocas más ligeras entre las muestreadas. Su densidad aparente varía entre un mínimo de 2.28 g/cm^3 y un máximo de 2.66 g/cm^3 , con un histograma de densidades desagrupado que exhibe una media de 2.49 g/cm^3 y una moda de 2.53 g/cm^3 (**figura 17**). Se asociarán, por tanto, con anomalías gravíficas negativas muy netas.

Los esquistos son totalmente paramagnéticos. El rango de susceptibilidad es de $10 - 75 \cdot 10^{-6}$ ucgs, con $kmp=27 \cdot 10^{-6}$ ucgs. Por tanto, se trata de rocas que no deben producir anomalías magnéticas. En el mapa regional de campo reducido al polo se ubican usualmente en zonas de muy bajo relieve magnético.

Los esquistos son las rocas más radiactivas del Dominio Noroccidental de la Faja Pirítica. Los valores del K oscilan entre 1.7 y 3.9%, con media de 3.3% y moda del 3.5% (**figura 18**). El rango del Th es 14.0 – 22.1 ppm, con media de 18.1 ppm. El U está comprendido entre 1.5 y 4.5 ppm, con media de 2.9 ppm. En la serie de 18 mediciones podría destacarse el valor máximo de uranio.

2.3.4.4 PIZARRAS

De pizarras se dispone de una amplia muestra con 133 rocas (76 láminas y 19 probetas). Se han recogido en todas las Unidades del Dominio Noroccidental de la Faja Pirítica:

En la hoja 937:

- Pulo do Lobo (1)
- Gafo (12)
- Pq (U. Duque: 9)
- C.V.S.: Unidad de Concepción (8), de Gibraltar-Panera (26), Riotinto (7)
- CULM: Unidad de Zalamea (16), Valverde (14)

A las que hay que añadir otras 40 de zonas vecinas a la hoja 937 en las hojas 936, 938, 958 y 959 (Proyecto 1995).

Las pizarras muestran un amplísimo rango de densidades, típico de estas rocas, entre 2.14 g/cm^3 y 2.82 g/cm^3 , con un histograma de densidades claramente polimodal que exhibe una media de 2.50 g/cm^3 . Las modas más importantes son 2.37 g/cm^3 y 2.55 g/cm^3 (**figura 17**), pero existen modas más elevadas, incluso del orden de 2.70 g/cm^3 ; este tipo de modas es el que causa tantos problemas en prospección gravimétrica minera en todo el contexto de la Faja Pirítica.

Las pizarras son monótonamente paramagnéticas. El rango de susceptibilidad es $0 - 74 \cdot 10^{-6}$ ucgs, con promedio $kmp=28 \cdot 10^{-6}$ ucgs.

La radiactividad de las pizarras es elevada, pero algo inferior a la de los esquistos, sobre todo en tierras raras. Los valores del K oscilan entre 1.9 y 6.2%, con media de 3.3% y moda del 3.2% (figura 18). En la serie de 84 mediciones radiométricas al suelo existe media docena de datos potasificados en el entorno del 5% de K, claramente separados del resto (figuras 18 y 19). El rango del Th es 5.6 – 21.1 ppm y la media 15.6 ppm, con una moda bien marcada en 16.5 ppm. El U está comprendido entre 0.4 y 5.3 ppm, con media de 2.7 ppm y moda de 3.1 ppm. Respecto al uranio, podrían destacarse por un lado el mínimo de uranio (0.4 ppm), y por otro, media docena de valores iguales o superiores a 4 ppm.

2.3.4.5 ROCAS SEDIMENTARIAS Y METAMÓFICAS: RESUMEN Y DISCUSIÓN

En las tablas IX y X se sintetizan los resultados petrofísicos registrados en rocas sedimentarias y metamórficas.

LITOLOGÍA	Ndk	kmi	kmx	kmp	kmf1	kmf2	kmf3	dmi	dmx	dm	dmd	Q
ARENISCAS	18	8	54	27	-	-	-	2,36	2,76	2,57	2,60	-
GRAUVACAS	32	1	38	19	-	-	-	2,33	2,70	2,55	2,53	0.32 (13)
CUARCITAS	8	8	94	37	-	-	-	2,48	2,66	2,59	2,59	-
ESQUISTOS	21	10	75	27	-	-	-	2,28	2,66	2,49	2,53	0.39 (9)
PIZARRAS	133	1	74	28	-	-	-	2,14	2,82	2,50	2.37-2.55	0.08 (30)

Tabla IX. Densidad y susceptibilidad de las rocas sedimentarias y metamórficas. Dominio Noroccidental de la Faja Pirítica

Ndk: n° de muestras. kmi, kmx: mínimo y máximo de susceptibilidad. Los rangos a los que se refieren los promedios de susceptibilidad son: $kmp < 250 \cdot 10^{-6}$ ucs; $250 < kmf1 < 750 \cdot 10^{-6}$ ucs; $750 < kmf2 < 2500 \cdot 10^{-6}$ ucs; $kmf3 > 2500 \cdot 10^{-6}$ ucs. dmi, dmx, dm, dmd: mínimo, máximo, media y moda de densidad en g/cm^3 . Q: mediana del parámetro de Koenigsberger; el valor de la mediana se refiere al n° de muestras indicado entre paréntesis. Ver Anexo 7.3.

LITOLOGÍA	Nrad	Kmi	Kmx	Km	Kmd	Umi	Umx	Um	Umd	Thmi	Thmx	Thm	Thmd
ARENISCAS	7	0,5	2,2	1,2	0,8	0,6	3,3	2,1	-	8,7	14,0	10,4	10,0
GRAUVACAS	15	1,3	4,8	2,6	2,6	1,6	4,2	2,6	2,6	6,8	19,7	13,2	16,5
CUARCITAS	2	0,4	1,3	0,9	-	0,6	2,9	1,8	-	4,5	13,0	8,8	-
ESQUISTOS	18	1,7	3,9	3,3	3,5	1,5	4,5	2,9	3,3	14,0	22,1	18,1	17,0
PIZARRAS	84	1,9	6,2	3,3	3,2	0,4	5,3	2,7	3,1	2,6	21,6	15,6	16,5

Tabla X. Radiometría en tierra (%K, ppmU, ppmTh) de las muestras de volcanitas. Dominio Noroccidental de la Faja Pirítica

Nrad: n° de muestras con medida "in situ". Los subíndices mi, mx, m, y md referencian el mínimo, máximo, media y moda de K, U y Th respectivamente.

Se trata de conjuntos totalmente paramagnéticos y de baja densidad, especialmente por lo que se refiere al que configura la moda baja en pizarras, por lo que se asociarán a mínimos en los mapas de anomalías de campo potencial.

La radiactividad, bastante superior a la de las rocas volcánicas con las que presentan contrastes bien marcados en los mapas aéreos, crece a medida que los materiales finos se vuelven predominantes. Las grauvacas son bimodales, con tendencias radiactivas ya próximas a las de las areniscas ss, ya a las de las pizarras.

3. INTERPRETACIÓN REGIONAL DE CAMPOS POTENCIALES Y RADIOMETRÍA GAMMA NATURAL DEL DOMINIO NOROCCIDENTAL DE LA FAJA PIRÍTICA

Este capítulo contiene una visión sumaria, fundamentalmente cualitativa (aunque con algunos matices cuantitativos provenientes de la deconvolución de Euler), de las principales características lito-estructurales del DOMINIO NOROCCIDENTAL DE LA FAJA PIRÍTICA según las imágenes geofísicas de trabajo. La interpretación magnética y gravimétrica se realiza de manera conjunta, presentando de forma compacta aspectos que en parte ya se habían mencionado en el capítulo anterior de petrofísica. Se hace hincapié en las regiones anómalas fundamentales y los ejes que las delimitan (interpretación de los ejes de máximo y mínimo, de las zonas de magnetización o densidad más o menos uniforme y diferenciada, y análisis estructural de los gradientes que se derivan de la existencia de los ejes anómalos, y de las discontinuidades que alteran estos gradientes). Las imágenes de potencial usadas son las de campo gravífico total y residual, y magnético reducido al polo, junto con sus respectivas derivadas verticales.

Finalmente, se presentan la imágenes monoelementales respectivas de potasio, torio y uranio, y el mapa radiométrico ternario con descripciones relativas sobre todo a rocas volcánicas y formaciones volcano-sedimentarias.

3.1. CAMPOS POTENCIALES: GRAVIMETRÍA Y MAGNETISMO

3.1.1. INTERPRETACIÓN GEOLÓGICA

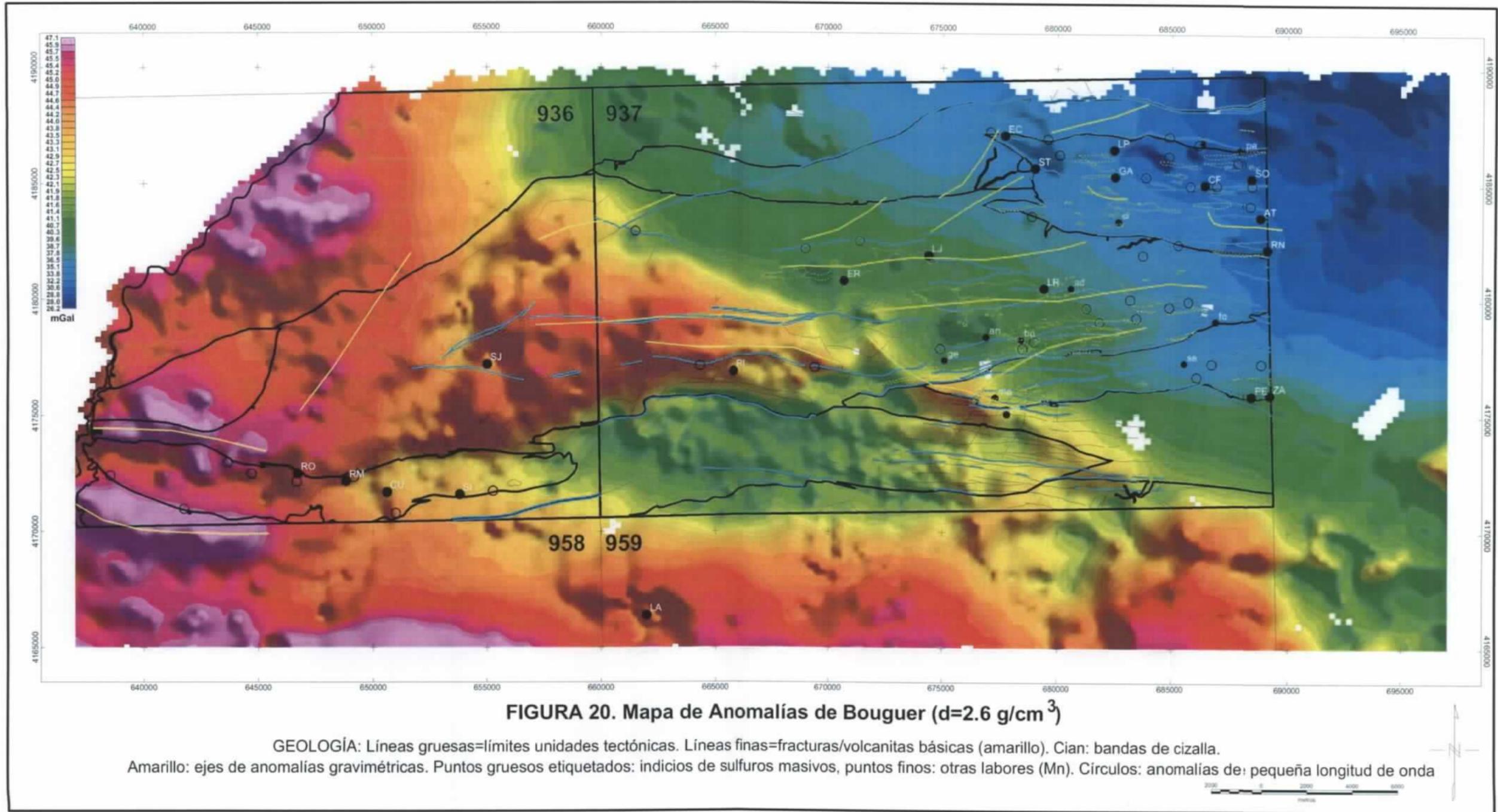
3.1.1.1 ANOMALÍAS DE CAMPO TOTAL

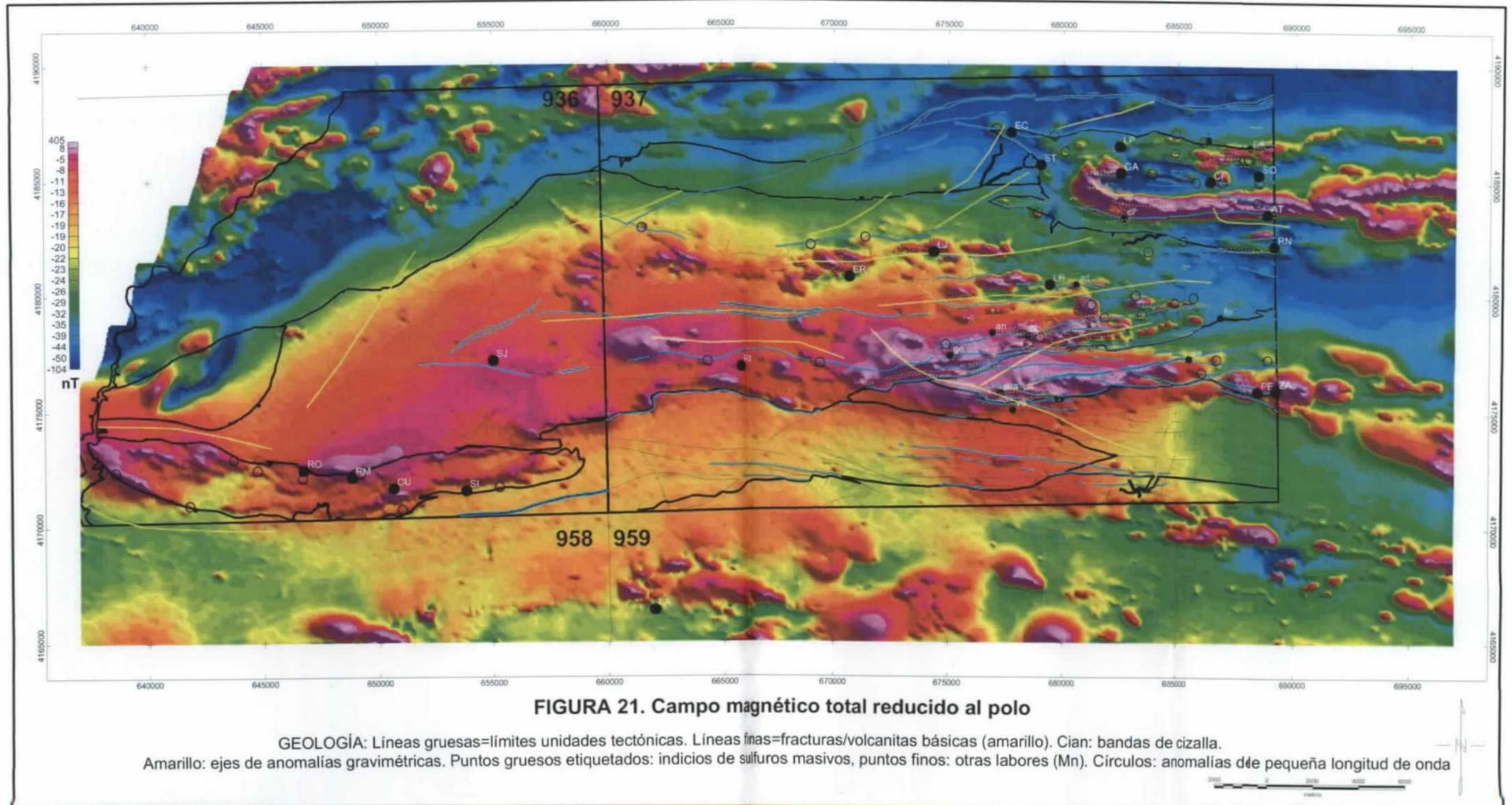
a) El mapa de anomalías de Bouguer (**figura 20**) se encuentra dominado por un gran gradiente regional NO-SE (gradiente principal de toda la Faja Pirítica; cfr. mapa de Bouguer en Plata et al, 1996), existiendo además una serie de anomalías intensas ya en zonas del Complejo Volcano-Sedimentario, C.V.S., ya en áreas cubiertas por metasedimentos grauváquico-pizarrosos. Estos rasgos no son inmediatamente explicables ni por la cartografía de superficie (no existen afloramientos masivos de rocas básicas que los justifiquen) ni por la probable configuración estructural "thin-skinned" de las unidades de la Faja,

b) El mapa magnético reducido al polo (**figura 21**) refleja la presencia del C.V.S. (fundamentalmente del C.V.S. básico, basáltico) ya sea aflorante, o próximo a la superficie, si se encuentra cubierto por volcanitas ácidas o metasedimentos. El rasgo fundamental del magnetismo de la Faja Pirítica, ya conocido, es la cartografía general del C.V.S. (con basaltos y jaspes como principales marcadores magnéticos). En detalle, el seguimiento magnético de unidades volcánicas es con frecuencia impreciso, por la bimodalidad de susceptibilidades de las litologías presentes, básicas incluidas.

Es posible delimitar las expresiones gravimétrica y magnética de la zona de estudio (**figuras 20 y 21**), mediante las siguientes bandas de anomalías de tendencia E-O ó NO-SE:

1) Banda de mínimos de gravedad sobre la Unidad de Concepción (valores de campo entre 30-35 mGal, tonos azules en la **figura 20**), al NE de la hoja 937: refleja el carácter eminentemente ácido de la Unidad. Ni las láminas de Fm. Andesítico-dacítica ni los sills basálticos cartografiados parecen perturbar la amplia faja de mínimos. En cambio, estos sills producen el acusado arco magnético de la escama de San Telmo de esta Unidad. Se insinúa la repetición de un arco magnético





similar en la escama de Lomero-Poyatos, arco que se cierra por el Norte bajo el cabalgamiento del Gafo.

2) Arco de máximos gravimétricos (entre 42-45 mGal, tonos rojos en la **figura 20**) central-SE de la hoja 937: se compone de dos segmentos.

El segmento anómalo más suroriental marca las terminaciones Este de la Unidad de Duque y Oeste de la de Riotinto. Sobre este último extremo aflora una masa de basaltos que magnéticamente se prolonga en sentido Este hacia el interior de la Unidad sin producir señal gravífica. La terminación Este de la Unidad de Duque no ocasiona anomalía magnética.

El segmento centro-occidental del arco anómalo de gravedad se caracteriza por su gran extensión en dirección N-S debido a la presencia de una importante masa anómala. Esta masa debe estar distribuida con cierta irregularidad lo que ocasiona imbricación de anomalías de longitud de onda intermedia (decakilométrica) con otras de longitud de onda más pequeña, de orden kilométrico. En esta zona existen anomalías magnéticas, aunque no tan extensas como las de gravedad: podría pensarse en un engrosamiento de la Formación Andesítico-dacítica, paramagnética, en este sector occidental de la Unidad de Gibraltar-Panera entre las hojas 936 y la 937, engrosamiento que conjuntamente con imbricaciones de láminas ferromagnéticas de diabasas o basaltos no aflorantes, serían los causantes de las anomalías de campo potencial aquí.

Un rasgo destacable del gradiente de gravedad que se extiende hacia el Este (entre 36-42 mGal, tonos verdes en la **figura 20**) desde el segmento anómalo centro-occidental de la hoja 937 es que exhibe varios ejes de anomalías arrosariadas de tendencia E-O. Estos ejes, aunque de intensidad moderada, son importantes, ya que proporcionan la clave interpretativa de buena parte de las anomalías de campo potencial de la hoja 937 al venir a situarse aproximadamente según afloramientos dispersos de rocas básicas de la cartografía de referencia (basaltos, doleritas, traquibasaltos). Así, en la Unidad de Gibraltar-Panera (**figura 20**): 1) la lineación de máximos más septentrional sigue la corrida basáltica en la que se ubica la mina de la Joya (LJ); 2) dos secuencias de máximos configuran un extenso eje central anómalo. El tramo más oriental de este eje, próximo a la mina de Lancha-Roma (LR), discurre sobre una lámina central de basaltos; y, 3) las dos lineaciones meridionales discurren sobre los afloramientos de doleritas del límite Sur de la Unidad de Gibraltar.

Conviene destacar la excelente correspondencia de anomalías gravimétricas y magnéticas en el caso de todas estas lineaciones (**figura 21**) si bien la capacidad de discriminación del mapa magnético es superior al tratarse de un vuelo de alta resolución (con lecturas cada 70 m en líneas a 250 m, frente a lecturas gravimétricas con separación nominal de 500 m).

El gradiente oriental de gravedades desde el arco de máximos gravimétricos central que se acaba de describir se proyecta hacia el Este según la Unidad de Gibraltar-Panera, pero lo hace representando valores de campo cada vez más débiles, atenuándose éstos en el límite oriental de la hoja 937: los efectos de la Fm. Andesítico-dacítica desaparecen aquí, donde el mapa magnético nos informa también de la ausencia de rocas básicas. Al Norte de esta terminación oriental del gradiente de gravedad positivo debido a la Fm. Andesítico-dacítica dominan los mínimos de la U. de Concepción; al Sur, el gradiente de gravedad es interrumpido por la inyección de la U. de Riotinto, que también debe ser predominantemente ácida, aunque el mapa magnético indica la presencia de rocas básicas, sólo parcialmente cartografiadas.

3) Faja meridional de mínimos gravíficos. Al Sur del arco de máximos gravimétricos central de las hojas 936-937 aparecen varias zonas de mínimo relativo: toda la banda de la Unidad del Duque (grauvacas y pizarras del Culm) del Sureste de la hoja 937, así como toda la faja de C.V.S., ácido (riodacítico), del límite Sur de la hoja 936 (U. de Gibraltar-Panera). En esta faja de C.V.S. deben existir placas elongadas de basalto o de diabasa como indica el mapa magnético en esta región; en la cartografía sólo se representan un par de diques de diabasa a lo largo del contacto Norte entre C.V.S. y Culm. Flanqueando la terminación occidental de esta banda de C.V.S. ácido existen importantes anomalías de gravedad: en general todo el Culm occidental en las hojas 936 y 958 encierra rocas pesadas que no producen señal magnética por lo que su asociación con las rocas básicas típicas del C.V.S. no es inmediata.

En resumen, el contexto de campos potenciales del Dominio Noroccidental de la Faja Pirítica (hojas 936-937) viene definido por:

*Una faja central de anomalías gravimétricas positivas en la hoja 937 que refleja la importancia volumétrica de la Fm. Andesítico-dacítica, característica de la Unidad de Gibraltar en esta hoja, y de las imbricaciones de esta formación con rocas basálticas. La correspondencia de las anomalías de gravedad con las anomalías magnéticas es buena, siendo la capacidad resolutive de estas últimas excelente (en esta Unidad y en todas las estudiadas en general). Las anomalías magnéticas sugieren una abundancia de rocas basálticas mayor que la reflejada en el mapa geológico.

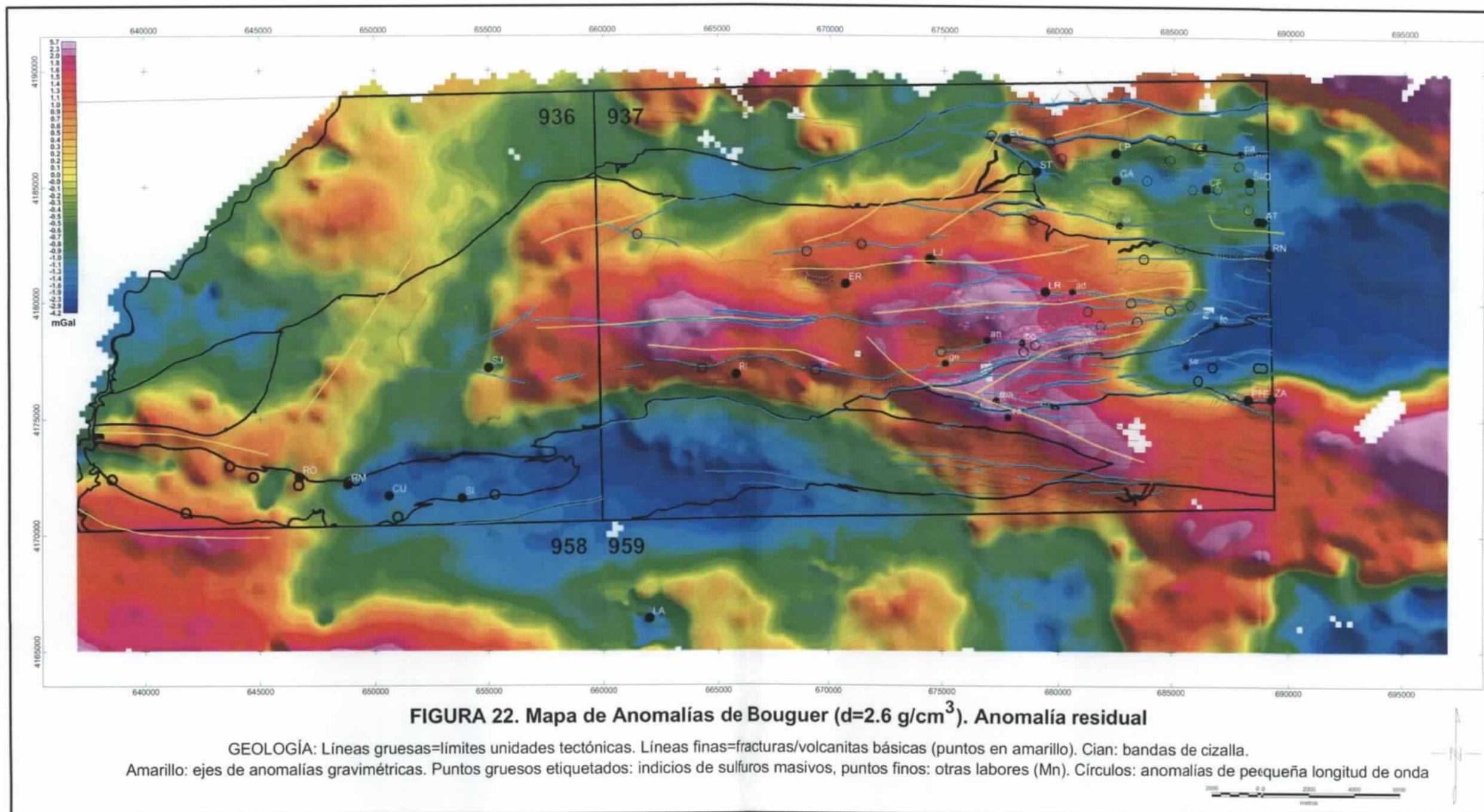
*Una serie de anomalías gravimétricas negativas que son la expresión:

1) de las unidades metasedimentarias como el Gafó al Norte de la Unidad de Gibraltar y el Culm del Duque o de Zalamea al Sur de la misma, todo ello en la hoja 937 (en el Gafó de esta hoja existen ejes gravimétricos y magnéticos de poca intensidad, típicos de la presencia del C.V.S. bajo metasedimentos, lo que no ocurre en el Culm citado). En la hoja 936, las pizarras y grauvacas del Culm cubren materiales pesados que provocan señales gravimétricas positivas (pero no magnéticas).

2) de las unidades volcánicas predominantemente ácidas como Concepción, Riotinto y faja de C.V.S. del Sur de la hoja 936 (Unidad de Gibraltar). Sin embargo, en estas tres unidades sí existen notorias lineaciones magnéticas producidas por rocas basálticas ya aflorantes (U. de Concepción) o subaflorantes, en general muy cercanas a la superficie. El mapa magnético reducido al polo constituye un excelente medio de cartografía de estos materiales básicos.

3.1.1.2 ANOMALÍA DE BOUGUER RESIDUAL

Se han empleado distintos métodos para el cálculo de la anomalía de Bouguer Residual. Finalmente, se ha escogido una residual de la Anomalía de Bouguer obtenida por eliminación de un polinomio de segundo grado (**figura 22**). Respecto a la anomalía total, la residual ofrece una imagen más próxima a la geología de superficie y a las cartografías disponibles, complementando y aclarando lo descrito en cuanto a la distribución de densidades en el subsuelo. En efecto, en el mapa residual se muestra claramente la anomalía central de la hoja 937 (y parte de la 936) sobre la Formación Andesítico-dacítica de la Unidad de Gibraltar-Panera, con máximos relacionados con los afloramientos de rocas básicas en la Unidad. Al Norte de esta Unidad su faja de Culm no debe ser potente porque es magnética y gravimétricamente activa, mientras que, más al Norte todavía, el Gafó (pizarras y areniscas) y Pulo do Lobo (esquistos) son áreas de mínimo relativo con algunos máximos.



Una novedad del mapa residual respecto a la anomalía gravimétrica total se produce en la Unidad de Concepción, donde aparecen señales anómalas de gravedad procedentes de los basaltos que originan el acusado arco magnético de esta Unidad. El Culm del Duque en la hoja 937 es una zona de mínimos, como casi toda la banda de C.V.S. del Sur de la hoja 936, si bien en la región más occidental de esta faja existen anomalías positivas probablemente producidas por las rocas básicas del C.V.S. que originan las firmas magnéticas de este sector.

En resumen, la anomalía residual ofrece aspectos de interés, discriminando especialmente la situación gravífica de las unidades del C.V.S., ácido y básico, áreas en donde mejora la comprensión de las correlaciones de las anomalías de campo potencial, gravimétricas y magnéticas, y el aislamiento de las fuentes de las mismas.

3.1.2. ESTRUCTURA. ESTIMACIONES DE PROFUNDIDAD

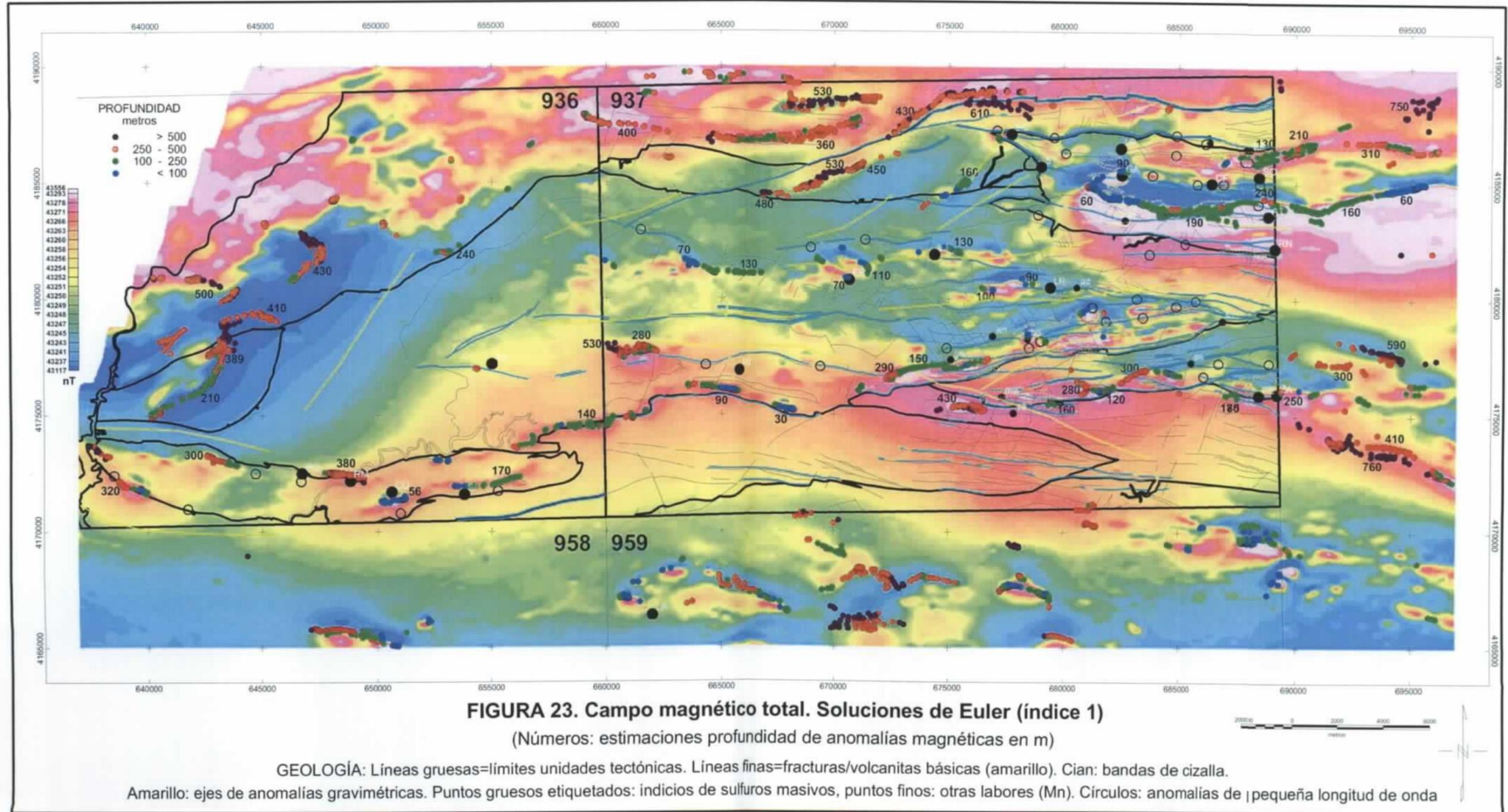
Se mencionan a continuación algunos aspectos de las firmas de campo potencial producidas por los rasgos estructurales de la cartografía geológica de referencia, mencionados por orden de importancia:

*En general, los límites cabalgantes de las Unidades estructurales mayores producen señales de campo potencial, sobre todo magnéticas, cuando el C.V.S. está presente. De este modo, exhiben respuestas anómalas bastante continuas los límites de las Unidades de Gibraltar-Panera, Concepción y Riotinto. En el caso de las Unidades no volcánicas (Gafo o Culm), las imágenes de campo potencial reflejan la importancia del volumen de los metasedimentos y la eventual continuidad bajo cobertera del C.V.S. (v.g., indicaciones realizadas en el apartado anterior).

*Las bandas de cizalla muestran expresión de campo potencial cuando existen rocas básicas implicadas. Este es el caso de buena parte de las cizallas de la Unidad de Gibraltar-Panera, o de las que limitan al Norte y al Sur la escama de San Telmo de la Unidad de Concepción (límites de la masa volcano-epiclástica central con las láminas de la Fm. Andesítica que la bordean al Norte y al Sur).

*Respecto a la red de fallas SO-NE y conjugadas de la cartografía de referencia, se puede indicar que es fácilmente ampliable y prolongable recurriendo a las interrupciones de los ejes magnéticos del mapa reducido al polo. El seguimiento de grandes estructuras de basamento debería realizarse con imágenes a escala de toda la Faja Pirítica.

Como apoyo a la interpretación estructural se pasa a exponer los resultados de un ensayo simple de determinación de la profundidad de anomalías aeromagnéticas realizado mediante el método de Euler (Reid *et al*, 1990, Geosoft 1996). La Deconvolución de Euler es un método de aplicación rápida que tiene la ventaja de no requerir un modelo geológico a priori, pero presenta el inconveniente de manejar un índice estructural a establecer previamente, y que influye de manera clara en las determinaciones de profundidad obtenidas. Es por ello que en general los resultados son ambiguos, ya que: 1) los límites obtenidos para las fuentes de las anomalías pueden ser menos claros que en el mapa magnético original (aunque algunos contactos suelen venir muy bien definidos por este método, como se observa en la **figura 23**), y 2) las soluciones de profundidad pueden presentar agrupaciones inconsistentes con variaciones exageradas; el uso exclusivo de profundidades de Euler es arriesgado, por lo que conviene manejar también referencias de profundidad ya gráficas, ya procedentes de modelos cuantitativos (Gunn, 1997).



En la **figura 23** se representan los resultados de la deconvolución de Euler, para un índice $n=1$, y una ventana de inversión de 2 km (10 celdas de la malla, de 200 m, de campo magnético, total). Dado que la geología general del área es probablemente mejor descrita por diques y láminas extensas de buzamiento variable, las soluciones para el índice $n=1$ deberían ser las más fiables. La chimenea vertical ($n=2$) y la esfera ($n=3$) no son apriori modelos realistas dentro del área de estudio, desde el punto de vista regional.

Como era de esperar en un área de actividad magnética con gradientes altos, la mayor parte de las fuentes son interpretadas próximas a la superficie: el 53% de las soluciones proporcionan profundidades inferiores a los 250 m, y el 38% entre 250 y 500 m (el rango es 1-894 m, con media de 264 m). Como se observa en la **figura 23**, los ejes anómalos principales proporcionan abundantes determinaciones de Euler, en general someras. Los resultados por unidad estructural son los siguientes:

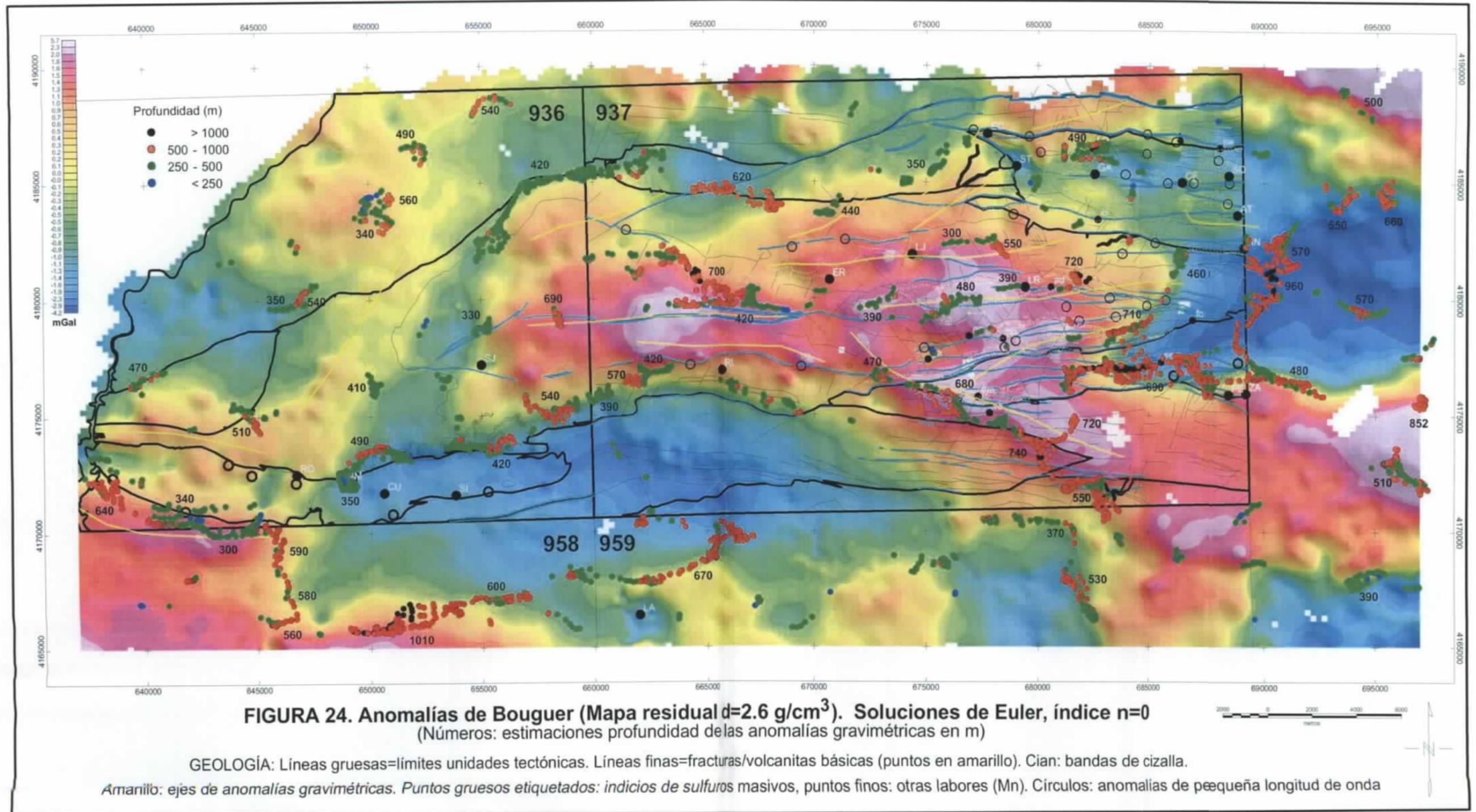
-Unidad de Gibraltar-Panera (hoja 937): el eje magnético La Joya-El Risquillo, bastante más extenso que el segmento de volcanitas básicas de la cartografía de referencia, exhibe profundidades entre 30 y 206 m, con promedio de unos 120 m. La deconvolución de Euler de la anomalía gravimétrica residual no ofrece soluciones para esta estructura (**figura 24**). En el caso de la alineación magnética de Lancha-Roma los resultados varían entre 73 y 137 m, con promedio de unos 100 m (**figura 23**). Se trata por tanto de anomalías magnéticas muy superficiales; los gradientes de mapa gravimétrico residual indican desarrollos en profundidad poco importantes para la corrida de volcanitas básicas de La Joya-El Risquillo (apenas hectométricos), y más relevantes para la lámina basáltica de Lancha-Roma (unos 500 m para el conjunto de andesitas+basaltos, **figura 24**).

Sobre el límite cabalgante Sur de la Unidad de Gibraltar las lineaciones magnéticas meridionales discurren sobre los afloramientos de doleritas y rocas básicas subaflorantes de dicho límite de la Unidad de Gibraltar: las profundidades son variables, oscilando entre 2 y 400 m, con promedio de 137 m. El mapa gravimétrico ofrece espesores entre 400 y 700 m para la lámina andesítica a lo largo del borde Sur de la unidad (**figura 24**).

Una anomalía magnética interesante es la ubicada próxima al límite con la hoja 938. Las profundidades varían aquí entre 195 y 679 m (media de unos 320 m) para la anomalía magnética y hasta 700-1000 m para la gravimétrica, lo que proporciona una indicación del espesor máximo de la escama andesítica que alberga la fuente básica que produce la anomalía magnética.

Por tanto, las anomalías magnéticas de esta Unidad de Gibraltar son bastante superficiales, de manera que puede hablarse, salvo sobre el límite Sur, de un desarrollo en general decamétrico-apenas hectométrico de las coladas básicas fuente de las anomalías magnéticas de la Unidad. La tendencia es a la somerización hacia el Este. Las anomalías de gravedad indican desarrollos más importantes de la lámina andesítica de la Unidad de Gibraltar, próximos en promedio a magnitudes del orden de unos 500 m .

-En la Unidad de Riotinto, al SE de la Unidad anterior, se registra una profundización de las fuentes anómalas magnéticas. En la anomalía Oeste puede hablarse de espesores de Culm suprayacente entre 323 y 812 m con promedio de unos 460 m. En el centro los valores oscilan entre 55 y 384 m con promedio de unos 160 m. Las anomalías de gravedad sugieren desarrollos similares a los de la lámina andesítica de la Unidad de Gibraltar para la fuente o fuentes origen de las mismas.



-En la Unidad de Concepción: las soluciones de Euler correspondientes a las señales anómalas procedentes de los basaltos que originan el acusado arco magnético de esta Unidad indican profundidades de 188-289 m con media de unos 240 m al Este (área de Aguas Teñidas; no existen aquí soluciones gravimétricas, **figuras 23 y 24**), y 12-95 m con media de unos 70 m al Oeste (área de La Gallega). No se han obtenido espesores fiables de los basaltos con la deconvolución realizada.

-En el Gafo al Norte de Unidad de Gibraltar-Panera (hoja 937) las señales magnéticas se originan en el entorno entre 322 y 639 m (media de unos 450 m) en la anomalía principal de esta unidad (**figura 23**). Estos valores deben ser considerados resultados intrasedimentarios sin relación con el espesor total de la sucesión.

Más al Norte aún y en la misma hoja 937, en Pulo do Lobo las soluciones de Euler indican coberteras metasedimentarias entre 125 y 863 m (media de unos 440 m) para los ejes magnéticos centrales y entre 205 y 497 m (media de unos 340 m) al Oeste de la hoja. Igualmente, se trata de resultados intrasedimentarios sin relación con el espesor total de la serie. En la hoja 936 los ejes magnéticos se ubican a profundidades comprendidas entre 203 y 723 m (media de unos 440 m) bajo Pulo y entre 139 y 629 m (media de unos 260 m) en el Gafo.

-En el sector occidental de la Unidad de Gibraltar-Panera (hoja 936), en base a fuentes magnéticas subyacentes, se pueden realizar estimaciones de espesor de la lámina tonalítica central-Este de la Unidad (profundidades de techo y muro entre 50 y 500 m). Los espesores que suministra la deconvolución gravimétrica varían entre unos 300 y 600 m.

En la banda de C.V.S. del Sur de la hoja 936 los ejes magnéticos se ubican entre 85 y 602 m (media de unos 270 m) al Oeste, entre 192 y 533 m (media de unos 300 m) en la zona de La Romanera-Rivera Malagón, entre 35 y 85 m (media de 65 m) en la zona del Cura, y entre 80 y 205 m (media de unos 140 m) al Este. También se produce aquí una somerización hacia el Este de las estructuras magnéticas.

En resumen, las láminas magnéticas de la Unidad de Gibraltar-Panera muestran emplazamientos someros, desde decamétricos hasta apenas hectométricos, con una o dos excepciones; estas excepciones permiten, junto con las soluciones arrojadas por los datos gravimétricos, evaluar la posible potencia de la Formación Andesítica de las hojas 936 y 937 (entre unos 300-600 m). En la Unidad de Concepción puede hablarse de desarrollos de pocos hectómetros de las rocas básicas que producen las anomalías de campo potencial. Es factible obtener, según la profundidad de fuentes magnéticas intrasedimentarias, estimaciones de espesor metasedimentario del orden de 500 m en áreas de Culm, Gafo y Pulo do Lobo. En el contexto estudiado, no existen fuentes magnéticas profundas a partir de las que realizar evaluaciones de orden de profundidad kilométrico.

3.1.3. SITUACIÓN DE INDICIOS MINEROS Y ANOMALÍAS DE CAMPO POTENCIAL

En el Dominio Noroccidental de la Faja Pirítica son frecuentes las anomalías de campo potencial de pequeña longitud de onda (de orden igual o menor que 1 km, **figuras 21 y 22**), que aparecen en diversos contextos:

*En la Unidad de Gibraltar-Panera (hojas 937 y 936) es fácil discernir un gran número de anomalías gravimétricas y magnéticas de detalle, pero la mayoría de ellas serían relacionables con los ejes de campo potencial causados por volcanitas básicas, más que con los indicios y minas existentes. Cuando se compara la textura y situación de las anomalías de campo potencial con la localización de los indicios, se observa que la mayoría de éstos se ubican en áreas de interferencia de anomalías de pequeña y mediana longitud de onda, de forma que la fuente anómala debe ser siempre relativamente compleja (mezcla de diversos contrastes lito-estructurales, con una eventual aportación de la masa anómala del indicio, lo que hace difícil separar la contribución correspondiente a éste último, en el supuesto de que exista). Aunque de los 14 indicios de la Unidad, 12 ocurren en zonas de anomalía magnética y 7 en zonas de anomalía de gravedad (**tabla XI** en página 70), sólo existen dos labores (Adelfitas, de Mn, y La Rica de sulfuros) centradas sobre anomalías de campo potencial de pequeña longitud de onda.

Dado que en general:

- Las anomalías gravimétricas de pequeña longitud de onda más notorias aparecen en secuencias de anomalías asociables a volcanitas básicas.
- Prácticamente todos los indicios aparecen en áreas magnéticamente activas
- Siete de los nueve indicios de la Unidad en la hoja 937 y 4 de los 5 en la hoja 936 se ubican en las proximidades de bandas de cizalla o grandes cabalgamientos.

podría ser una buena idea hacer recuento de las anomalías magnéticas puntuales situadas en la vecindad de bandas de cizalla, pero no en la de los ejes anómalos más claramente atribuibles a rocas básicas. Usando este criterio de búsqueda de pequeñas perturbaciones sobre cizallas en donde la asociación básicas-anomalías no sea inmediata, se podrían delimitar unos 10-12 puntos de interés en bandas de cizalla meridionales y otros 7 en cizallas septentrionales (hoja 937; círculos abiertos en las **figuras 21-22**). La situación gravimétrica de estos puntos suele ser en las proximidades de máximos del mapa residual, o zonas de gradiente en algún caso.

* En la Unidad de Concepción existen 10 indicios, 9 de ellos asociados a bandas de cizalla. La asociación con anomalías magnéticas se produce prácticamente en todos los casos (**tabla XI**). Asimismo, es posible discriminar sobre cizallas una serie de anomalías puntuales, magnéticas y/o gravimétricas, eventualmente relacionables con masas de interés económico (**figuras 21-22**). Cuatro de ellas (gravimétricas y magnéticas) aparecen en las proximidades de las masas de El Carpio (EC), Confesionarios (CF), Sorpresa (SO) y Aguas Teñidas (AT). Otras tantas pueden aislarse sobre el cabalgamiento Norte del Gafo sobre la Unidad de Concepción (corrida de Palomera-El Carpio), así como sobre la cizalla que separa la lámina de Lomero del resto de la Unidad (corrida de Lomero-Poyatos, LP), tratándose casi siempre de anomalías magnéticas, a veces acompañadas con respuestas gravimétricas. Finalmente, se indican dos anomalías magnéticas próximas a la corrida de La Gallega-Confesionarios.

Indicios en áreas magnéticas activas asignables a rocas básicas (y jaspes) son La Gallega, Cicerón y Palomera. Por último, en zonas adyacentes a San Telmo (ST) y Romanita (RN) sólo existen anomalías magnéticas débiles.

* En la faja de C.V.S. del límite Sur de la hoja 936 (Unidad de Gibraltar-Panera), la labor más significativa es la de La Romanera (RO, cabalgamiento Norte de la banda) en cuyas proximidades se pueden ubicar varias anomalías gravimétricas y magnéticas de detalle. Asimismo, sobre la cizalla Sur se pueden señalar varios puntos de interés. Por último, en la Unidad de Riotinto es posible indicar tres anomalías magnéticas sobre cizallas próximas a la Zarza.

3.2. IMÁGENES RADIOMÉTRICAS (POTASIO, TORIO Y URANIO)

3.2.1. POTASIO

El rango de este elemento (datos aeroportados en malla de 100x100 m, **figura 25**) está comprendido entre 0.8 y 7.9% con una media del 3.1%. Sobre la malla de datos se puede establecer la macrozonación siguiente, en la que se toma como referencia la distribución de unidades mayores del Dominio Noroccidental de la Faja Pirítica:

A) Mínimos de potasio ($\%K < 2.3$): cartografían muy bien toda la serie volcánica de las unidades de Concepción y Gibraltar-Panera en la hoja 937. Los mínimos más netos y continuos corresponden a la Fm. Andesítico-dacítica en ambas unidades, con valores de potasio comprendidos entre el 1% y el 1.8%, muy similares a los que ocurren sobre basaltos y diabasas, ambos indiscernibles de las andesitas en la imagen de potasio aéreo.

En la Unidad de Gibraltar-Panera existen zonas intermedias de potasio asociadas a pizarras (del Complejo Volcano-Sedimentario, C.V.S., o del Culm) y a tobas y epiclastitas ácidas. De manera dispersa, existen anomalías de potasio de pequeña longitud de onda (*spots* sólo potásicos, $K > 4.5\%$), que en algunos casos vienen a coincidir con afloramientos cartografiados de riolitas, mientras que en otros no es posible este tipo de adscripción, aunque por los datos espectrométricos al suelo del capítulo anterior, las fuentes más verosímiles son riolitas (no cartografiadas) y tobas ácidas.

En la Unidad de Concepción existen varias bandas de radiación discernible:

- Banda Norte de mínimos: sobre una lámina de la Fm. Andesítico-dacítica.
- Banda central: esta área, cartografiada mayoritariamente como epiclástica ácida y limitada por dos bandas de cizalla, presenta unos contenidos en potasio anormalmente bajos. Otra banda de cizalla subdivide esta banda central en dos: en la situada más al Norte existe un cierto número de anomalías de potasio (v.g., en la zona de La Gallega, $K > 4\%$), ausentes en la ubicada más al Sur.
- Banda Sur: nuevamente de mínimos sobre la Fm. Andesítica.

En las volcanitas de la Unidad de Riotinto (hoja 937; cartografiada como predominantemente ácida) predominan las respuestas bajas de potasio en los dos tercios más occidentales de la Unidad. No obstante, se aprecian algunos *spots* de K, siendo más frecuentes hacia el borde Este de la hoja.

En la hoja 936 los mínimos potásicos cartografían muy bien el cuerpo central-Este de la Fm. Andesítica, orlado por máximos muy bien marcados ($K > 5\%$) en las rocas metasedimentarias que lo rodean. La faja de C.V.S. del Sur de esta hoja 936 (Unidad de Gibraltar-Panera) no muestra mínimos tan acusados como los de la Fm. Andesítica de la hoja 937, a pesar de que existen dos bandas de esta Formación en la cartografía Magna de esta zona de la hoja 936 (dacitas de la Fm. Andesítico-dacítica). En esta zona, los máximos están producidos por lavas y tobas ácidas.

B) Zonas intermedias de potasio ($2.3 < \%K < 3.5$): dentro del C.V.S. corresponden a la mayor parte de sus rocas metasedimentarias (grauvacas y pizarras), y de sus tobas y epiclastitas ácidas. Las areniscas de la Unidad Gafo, así como las cuarcitas del PQ, exhiben contenidos del orden del 2.5% K. Por último, la mayor parte de las pizarras y grauvas del Culm más occidental ($X < 668000$ m) muestran contenidos próximos al 3%.

C) Máximos de potasio ($K > 3.5\%$). Las respuestas más altas en potasio se dan en los esquistos de Pulo do Lobo ($K > 4.5\%$), y en diversas zonas de unidades de metasedimentarias, como en las pizarras y grauvas del Culm más oriental, $X > 668000$ m, y en las pizarras del Gafo, sector oriental, $X > 680000$ m; en ambos casos con $3.5\% < K < 4.5\%$. A estas áreas *in-extenso*, habría que añadir los *spots* radiactivos en rocas ígneas ácidas (lavas y tobas riolíticas), del C.V.S., ya mencionados en A).

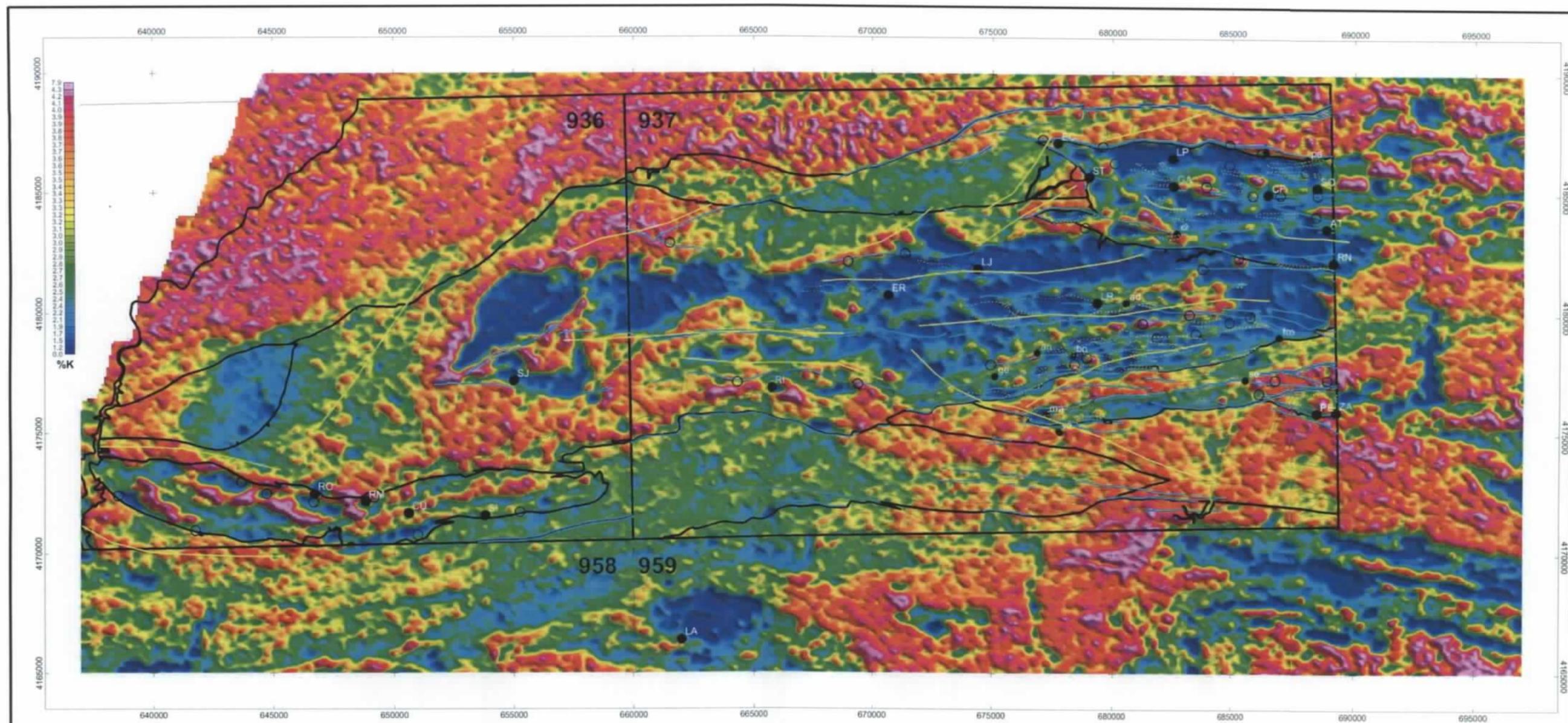


FIGURA 25. Imagen de potasio (Datos aeroportados)

GEOLOGÍA: Líneas gruesas=límites unidades tectónicas. Líneas finas=fracturas/volcanitas básicas (amarillo). Cian: bandas de cizalla. Amarillo: ejes de anomalías gravimétricas. Puntos gruesos etiquetados: indicios de sulfuros masivos, puntos finos: otras labores (Mn). Círculos: anomalías (de pequeña longitud de onda)

3.2.2. TORIO

El rango de este elemento (datos aeroportados en malla de 100x100 m, **figura 26**) está comprendido entre 0.7 y 24.3 ppm con una media de 13.6 ppm.

Se puede realizar una macrozonación de la zona de trabajo bastante similar a la efectuada para el potasio, pero con ciertos matices diferenciadores que se enumeran a continuación.

A) Mínimos de torio ($Th < 9$ ppm): cartografían la serie volcánica de las unidades de Concepción y Gibraltar-Panera en la hoja 937. Los contenidos de la Fm. Andesítica están comprendidos entre 5 y 8 ppm en ambas unidades. Las rocas más básicas, como doleritas y basaltos, exhiben valores en el tramo bajo de la banda de mínimos, en el intervalo 4.5-6.5 ppm, siendo en la práctica muy difíciles de distinguir de las andesitas con los datos radiactivos aéreos.

En la Unidad de Gibraltar-Panera existen zonas intermedias de torio ($9 \text{ ppm} < Th < 14 \text{ ppm}$) asociadas a pizarras (C.V.S. o Culm) y sobre todo a tobas y epiclastitas ácidas. Inversamente, los máximos de torio (hasta con 17 ppm) ocurren principalmente sobre pizarras y en menor medida sobre epiclastitas ácidas. No existen máximos de torio asociados a lavas ácidas, al contrario de lo que ocurría con los *spots* potásicos de esta Unidad.

En la Unidad de Concepción existen tres bandas discernibles de radiación proveniente del torio:

-Banda Norte y Banda Sur de mínimos: sobre sendas láminas de la Fm. Andesítica.

-Banda central: cartografiada mayoritariamente como epiclástica ácida, es un sector con contenidos de torio intermedio-bajos (7-10 ppm), casi sin *spots* de este elemento.

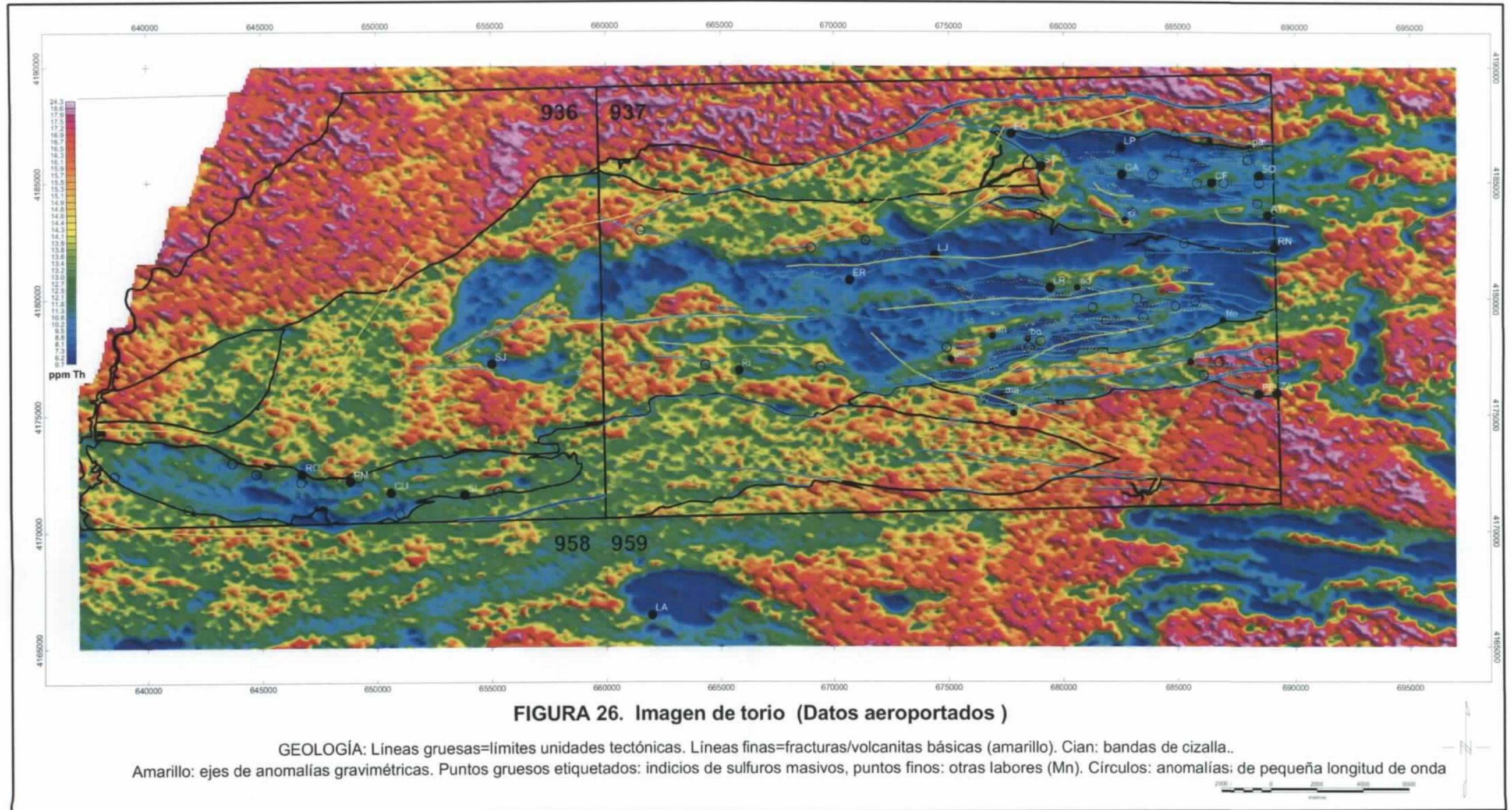
Las volcanitas de la Unidad de Riotinto (hoja 937) exhiben una mezcla de respuestas bajas e intermedias de torio, con un importante aumento de la concentración de este elemento en las proximidades del borde Este de la hoja.

En la hoja 936 el cuerpo central-Este de la Fm. Andesítica presenta contenidos de torio también intermedio-bajos (7.5-9.5 ppm), orlado por máximos ($Th > 15$ ppm) en las rocas metasedimentarias que lo rodean. La faja de C.V.S. del Sur de esta hoja muestra mínimos característicos de las dacitas de la Fm. Andesítico-dacítica de la hoja 937; los máximos están prácticamente ausentes.

Por tanto se puede concluir que las volcanitas masivas del C.V.S. presentan contenidos bajos en torio, incluso cuando se trata de volcanitas ácidas (7.5 – 10 ppm).

B) Zonas intermedias de torio ($9 \text{ ppm} < Th < 15 \text{ ppm}$): dentro del C.V.S. corresponden a buena parte de sus tobas y epiclastitas ácidas, y a algunas grauvacas y pizarras. Las areniscas y cuarcitas del PQ exhiben contenidos de torio del orden de 11-13 ppm. Por último, las grauvacas del Culm más occidental ($X < 668000$ m) muestran contenidos en el entorno de 12 – 14.5 ppm.

C) Máximos de torio ($Th > 15$ ppm). Las respuestas más altas de torio, como de potasio, se dan en los esquistos de Pulo do Lobo (15 – 20 ppm), y en diversas zonas de unidades metasedimentarias, como las pizarras y grauvacas del Culm más oriental, $X > 668000$ m, con $14 \text{ ppm} < Th < 17.5 \text{ ppm}$, y casi todas las areniscas y lutitas de la Unidad Gafo. Globalmente, esta Unidad puede ser considerada como de máximo de torio, con rangos de este elemento muy similares a los citados para los máximos de las rocas del Culm. A estas áreas *in-extenso*, habría que añadir los máximos en tobas y pizarras del C.V.S., ya mencionados en A).



3.2.3. URANIO

El rango de este elemento (datos aeroportados en malla de 100x100 m, **figura 27**) está comprendido entre 0 y 6.7 ppm con una media de 2.2 ppm.

Aunque las zonas radiométricas aparecen peor perfiladas por tratarse del canal más ruidoso, los contenidos radiométricos de las zonaciones establecidas para el potasio y el torio se describen a continuación.

A) Mínimos de uranio ($U < 1.5$ ppm): ocupan la mayor parte de la serie volcánica de las unidades de Concepción y Gibraltar-Panera en la hoja 937. Los contenidos de la Fm. Andesítica están comprendidos entre 0.4 y 1.3 ppm en ambas unidades. Las rocas más básicas, como doleritas y basaltos, exhiben contenidos en un tramo intermedio de la banda de mínimos, de 0.7 - 1 ppm, valores prácticamente idénticos a los típicos de las andesitas.

En la Unidad de Gibraltar-Panera existen amplias zonas de mínimo e intermedias ($1.5 \text{ ppm} < U < 2.6 \text{ ppm}$) sobre tobos y epiclastitas ácidas, y sobre pizarras (C.V.S. o Culm). Los máximos uranio (del orden de 3.5 ppm) ocurren principalmente sobre pizarras. Como en el caso del torio, no existen máximos de uranio asociados a lavas ácidas, al contrario de lo que ocurría con los *spots* potásicos de esta Unidad.

En la Unidad de Concepción existen tres bandas discernibles de radiación proveniente del uranio:

-Banda Norte y Banda Sur de mínimos: sobre sendas láminas de la Fm. Andesítica.

-Banda central: cartografiada mayoritariamente como epiclástica ácida, es un sector con contenidos en uranio (1-1.3 ppm) algo superiores a los de las andesitas. Casi no existen *spots* de este elemento.

En las volcanitas de la Unidad de Riotinto coexisten respuestas bajas e intermedias, en entornos respectivos de 1 ppm para las básicas y 2 ppm en las ácidas.

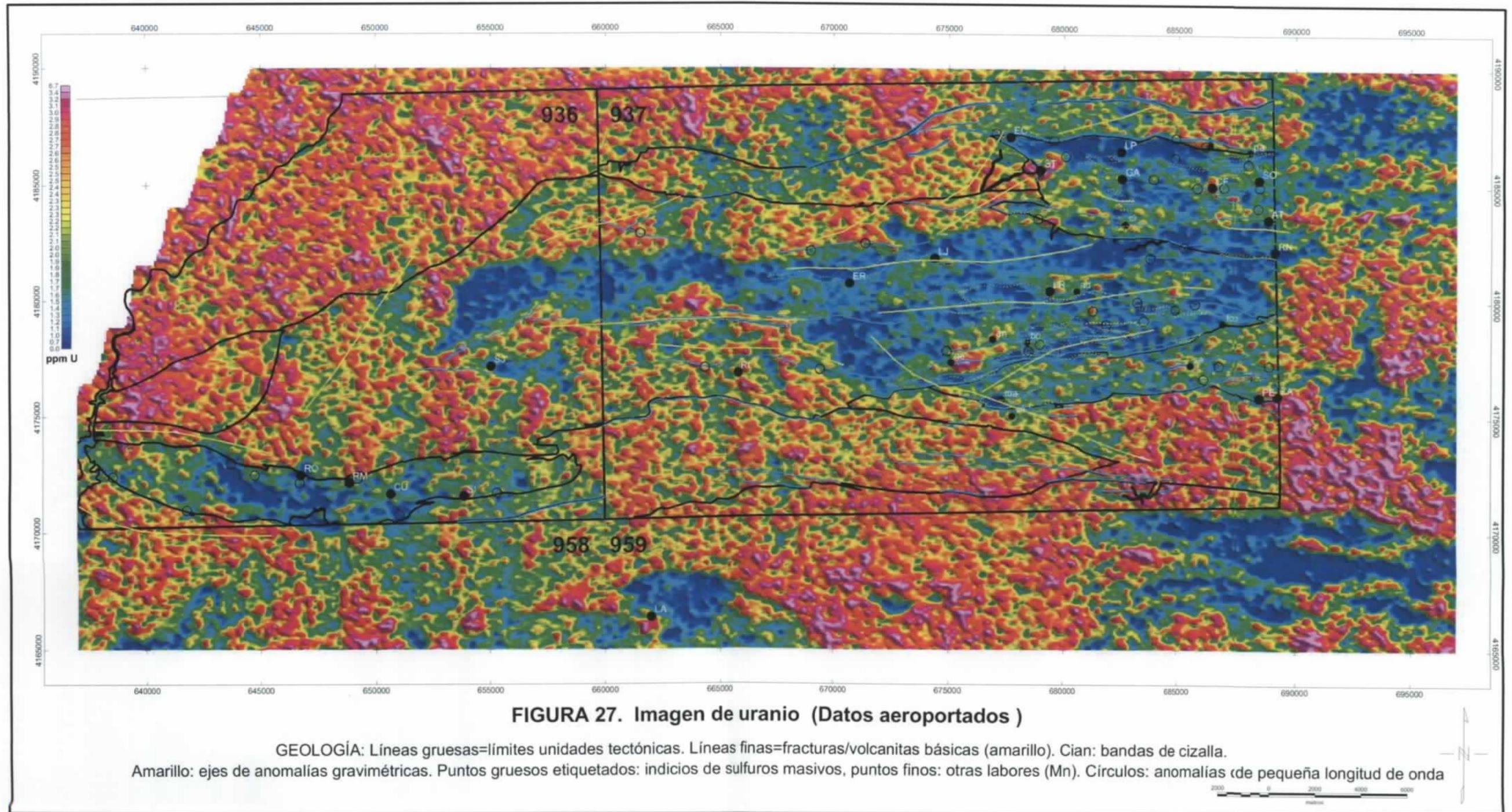
En la hoja 936, el cuerpo central-Este de la Fm. Andesítica presenta contenidos en uranio entre 0.7-1.0 ppm. La faja de C.V.S. del Sur de esta hoja, muestra mínimos característicos de las dacitas de la Fm. Andesítico-dacítica de la hoja 937, mezcladas con zonas intermedias; los máximos están prácticamente ausentes.

Por tanto se puede concluir que las volcanitas masivas del C.V.S. presentan contenidos bajos en uranio, incluso cuando se trata de volcanitas ácidas. Las tobos y epiclastitas ácidas ocupan posiciones con contenidos ya de mínimo (principalmente), ya intermedios.

B) Zonas intermedias de uranio ($1.5 \text{ ppm} < U < 2.7 \text{ ppm}$): dentro del C.V.S. corresponden a la mayor parte de sus grauvacas y pizarras, y a algunas de sus tobos y epiclastitas. Las areniscas y cuarcitas del PQ exhiben contenidos de torio del orden de 1.6-2.5 ppm, contenidos muy similares a los de las rocas de la Unidad Gafo. Por último, las grauvacas del Culm más noroccidental ($X < 668000 \text{ m}$, $Y > 4168000 \text{ m}$) muestran contenidos en el entorno de 2.0 - 2.6 ppm.

C) Máximos de uranio ($U > 2.7 \text{ ppm}$). Las respuestas más altas de uranio, como las de torio y potasio, se dan en los esquistos de Pulo do Lobo ($\cong 3 \text{ ppm}$), y en diversas zonas de unidades de metasedimentarias, como las pizarras y grauvacas del Culm más oriental, $X > 668000 \text{ m}$, que es incluso más radiactivo que el anterior, y el afloramiento de la Unidad Gafo de la hoja 938.

No obstante, tanto en estos casos de máximo como en los de las zonas intermedias, las respuestas de uranio son bastante caóticas, con mezcla continua de máximos y zonas intermedias, típicas de la distribución de este elemento en rocas metasedimentarias.



3.2.4. MAPA RADIOMÉTRICO TERNARIO

A partir de la imagen aérea de radiación ternaria (**figura 28**), se podrían resumir las características radiactivas de las unidades estudiadas como se indica a continuación.

1) COMPLEJO VOLCANO-SEDIMENTARIO.

a) Unidad de Concepción: se trata de una zona bien delimitada en el mapa ternario por dos bandas, Norte y Sur, de baja radiación sobre la Fm. Andesítica ($K < 1.5\%$, $U < 1.2$ ppm, $Th < 8$ ppm). Además, esta Unidad se caracteriza por presentar una banda central en la que las tobas y rocas epiclásticas ácidas, mayoritarias, exhiben un fondo radiométrico también bajo, ligeramente superior al de la Fm. Andesítica (K entre 1.5-2.2%, U entre 1-1.3 ppm y Th entre 8 y 10 ppm): sobre este fondo destacan algunas anomalías de potasio (K entre 4.0 y 4.5%) atribuibles ya a riolitas, por las coincidencias con sus afloramientos, ya a epiclastitas ácidas. También se observan anomalías monoelementales de uranio y torio, muchos menos abundantes que las de potasio, separadas entre sí y respecto a este último elemento.

b) Unidad de Gibraltar-Panera: es un área donde predominan los mínimos radiactivos ($K < 2.3\%$, $U < 1.5$ ppm, $Th < 9$ ppm) como corresponde a los extensos afloramientos de la Fm. Andesítica que cubren esta Unidad. Las rocas más básicas, como doleritas y basaltos, exhiben contenidos radiométricos en un rango típico de la banda de mínimos, K entre 1-1.6%, U entre 0.7-1 ppm y Th entre 4.5 y 6.5 ppm, valores muy similares a los usuales sobre las andesitas, de modo que es muy difícil de establecer diferenciaciones de radiactividad entre todo el conjunto básico del C.V.S..

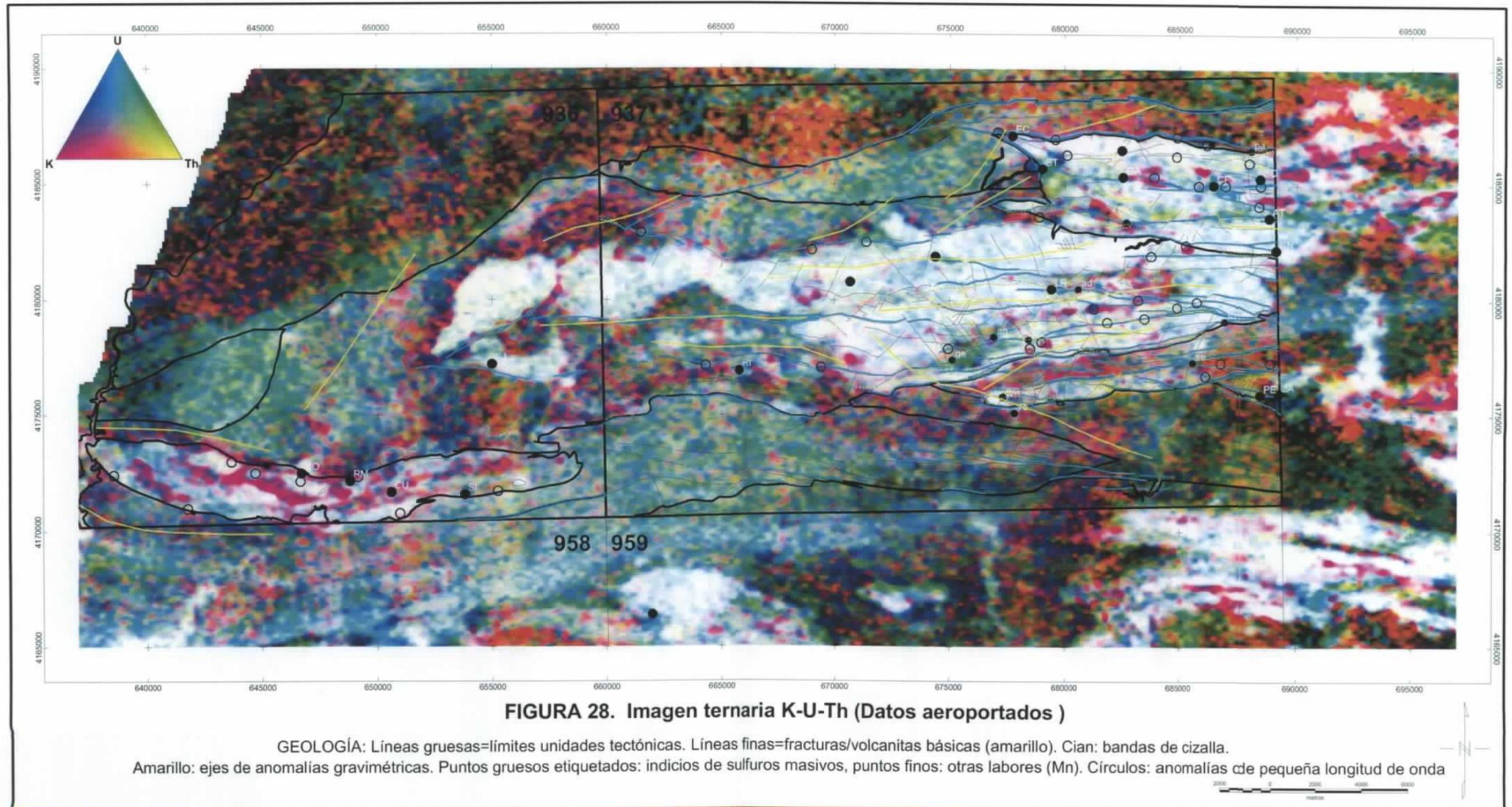
En la Unidad de Gibraltar-Panera existen zonas intermedias de potasio ($2.3 < K < 3.5$), uranio ($1.5 < U < 2.6$) y torio ($9 < Th < 15$) asociadas a pizarras. Las tobas y rocas epiclásticas ácidas ocupan áreas de mínimo o de radiación intermedia.

Característico de esta Unidad, como de la anterior, es la existencia de anomalías de potasio de pequeña longitud de onda (*spots* sólo potásicos), bien definidas, adjudicables a epiclastitas ácidas y a riolitas, aunque en esta Unidad la coincidencia entre zonas potasificadas y masas cartografiadas de riolitas es menor que en la Unidad de Concepción. Cuando en los máximos existen tonos de mezcla ($K+Th$, $K+U$, $U+Th$), lo habitual es que se trate de pizarras o grauvacas.

c) Unidad de Riotinto: en esta Unidad, en la hoja 937, se registra un importante aumento de los contenidos de potasio y torio desde su extremo occidental, básico, hacia el borde Este de la hoja, ácido, si bien, el salto principal de radiactividad no coincide con ningún límite cartográfico establecido, de modo que el mapa ternario presenta aquí una discrepancia notable respecto al mapa geológico.

d) Faja Sur de la hoja 936 (Unidad de Gibraltar-Panera): se caracteriza por presentar un bandeo alternante con fajas de baja radiación (dacitas de la Fm. Andesítico-dacítica) y fajas anómalas en potasio (volcanismo riolítico, con contenidos en este elemento muy elevados, entre 4.5 y 6%). Los contenidos de U y Th son moderados o bajos.

En resumen, de acuerdo con el registro radiactivo aéreo, el volcanismo de las unidades estudiadas en el DOMINIO NOROCCIDENTAL DE LA FAJA PIRÍTICA presenta las siguientes características:



--Las volcanitas masivas del C.V.S. muestran contenidos bajos en potasio, uranio y torio, salvo cuando se trata de volcanitas ácidas riolíticas, que suelen exhibir máximos potásicos (los más extensos en la hoja 938), aunque también existen riolitas que no producen señal potásica. La diferenciación al aire del espectro litológico basalto-andesita-dacita es casi impracticable.

--Las tobas y epiclastitas ácidas se sitúan en registros radiactivos intermedio-bajos, inferiores a los esperables; extensas áreas de estas rocas exhiben tonalidades que representan valores ligeramente superiores a los de las rocas básicas (sobre todo en la Unidad de Concepción). Naturalmente, existen máximos en estas rocas, pero bastante menos extensos que las áreas de radiación intermedia.

--En volcanitas, los *spots* radiactivos son potásicos (apenas de U y casi nunca de Th) típicos de riolitas, y en menor medida, de epiclastitas ácidas.

En cuanto a estructura, respecto a bandas de cizalla en volcanitas, se puede indicar que no tienen un seguimiento radiométrico continuo (lo que sí sucede con algunas fracturas de importancia de la red de fallas SO-NE y conjugadas de la cartografía de referencia). En cambio, son frecuentes los *spots* potásicos que se asocian a estas bandas de cizalla (pero sin llegar a formar trenes de anomalías que las caracterizen de forma homogénea).

2) ROCAS METASEDIMENTARIAS

- Unidad Pulo do Lobo: es la zona más radiactiva de las estudiadas (esquistos con $K > 4.5\%$, $U > 2.5$ ppm, $Th > 14$ ppm). Existen subzonaciones con firmas saturadas ($K+U+Th$), de $K+U$, $K+Th$ y $U+Th$. Éstas últimas deben corresponder a áreas más cuarzováquicas.

- Unidad PQ: es una región de radiación intermedia ($K \approx 2.5\%$, $1.5 < \text{ppm } U < 2.5$, $8 < \text{ppm } Th < 14$). Las señales predominantes son de $U+Th$, moderadas, esperables en cuarcitas, con algunos tonos de K que deben corresponder a áreas más pizarrosas.

- Unidad Gafo: en la faja de esta Unidad del Norte de la hoja 937 cabe distinguir un segmento central, de dos segmentos laterales que circundan al anterior. El segmento central emite unas señales típicas de areniscas similares a las del PQ, aunque algo más intensas especialmente en torio. Respecto al central, los segmentos laterales son más radiactivos, sobre todo el segmento oriental, que ofrece firmas de máximo que reflejan la predominancia de pizarras en este sector. El afloramiento de la hoja 936 es de composición radiométrica parecida a la del segmento central de la hoja 937.

- Culm: por intensidad de emisión existen dos tipos radiométricos de Culm, uno de radiación intermedia y otro de radiación elevada. La distribución de ambos tipos es irregular, si bien el de alta radiación predomina en toda la banda Sureste de la zona de estudio, al Este de $X=668000$ m, con una gran variedad de tonos (K , $K+U+Th$, $K+U$, $K+Th$ y $U+Th$), variabilidad que también ocurre en el Culm occidental de radiación intermedia. Estructuras como las de estratificación y plegamiento de tendencia E-O son bastante claras en este Culm occidental, mientras que la distribución de facies radiométricas del Culm más radiactivo parece estar controlada por discontinuidades Norte-Noreste, que en parte sirven de encaje a la red de drenaje.

3.2.5. UBICACIÓN DE INDICIOS MINEROS Y ANOMALÍAS RADIOMÉTRICAS DE DETALLE

En la **tabla XI** se presenta la situación radiométrica de los indicios de las hojas 936 y 937 agrupados por Unidad y Sustancia (S:sulfuros, Mn: manganeso; C es el encajante, ya epiclástico, Ep, pizarroso, Pz, etc). La tabla se ordena en cada categoría (Unidad: Uni) por contenidos crecientes en potasio aéreo.

* Unidad de Concepción (CO en **tabla XI**): los indicios más importantes (4 primeros registros de la tabla) se ubican en áreas de baja radiación por lo que respecta al potasio ($K < 2.3\%$), e intermedia (salvo Lomero) por lo que respecta a tierras raras pesadas. Ello refleja las características radiactivas del encajante superficial genérico constituido, salvo en Lomero (FA: Fm. Andesítica), por tobas y epiclástitas ácidas (Ep en tabla, encajante de radiación moderada-baja en toda la Unidad). No existen removilizaciones de K o U respecto al torio (lo que se reflejaría en ratios K/Th ó U/Th superiores a 0.5, ó $K*U/Th$ mayores que 1, e indicaría anomalías ya de los primeros elementos citados respecto a un tercero considerado geoquímicamente más estable como el Th, o ya anomalías desacopladas de la tendencia evolutiva habitual de aumento relativo del contenido en este elemento a medida que el encajante se acidifica). En cambio, se verifica un ligero enriquecimiento de U respecto a K: en efecto, en el mapa ternario (**figura 28**), estos indicios se encuentran más próximos a anomalías de U que de K. Respecto a los otros indicios de sulfuros de la Unidad, el entorno es de radiactividad moderada en Sorpresa, mientras que se torna más radiactivo en La Gallega, adyacente a una importante anomalía de potasio. En las proximidades del resto de indicios, de Mn y encajante pizarroso (pizarras moradas; Pz en tabla), se produce un aumento simultáneo de K y Th, sin que existan anomalías en los ratios.

En cuanto a anomalías de pequeña longitud de onda, las más notorias de la Unidad son las de potasio, con zonas algo más extensas ligeramente elevadas en uranio, sin que exista ningún *spot* radiactivo monoelemental claramente asociado a indicio alguno (mapa ternario de la **figura 26**).

* Unidad de Gibraltar-Panera (GP en **tabla XI**): el entorno radiactivo de los indicios de sulfuros de la hoja 937 es claramente uno de baja emisión, como corresponde a un encajante intermedio-básico (Fm. Andesítica/basaltos; FA/Vb en la **tabla XI**), salvo en el caso de La Rica o Lancha-Roma que encajan en epiclástitas ácidas con emisión de intensidad intermedia o baja, respectivamente. No existen removilizaciones de K o U respecto al torio, y el ratio K/U está equilibrado en general.

En los indicios de Mn de esta Unidad la caja epiclástica/pizarrosa (pizarras moradas) provoca que el registro radiométrico sea más elevado, pero sin rasgos destacables.

Recordemos que en la hoja 937 los *spots* radiactivos más notorios son los de potasio en riolitas y epiclástitas ácidas, seguidos de los de uranio.

El contexto radiactivo de los indicios de la banda Sur de C.V.S. de la hoja 936 es diferente: el encajante ácido es más radiactivo, con tendencias potásicas dentro de valores usuales en los ratios. Las fajas potasificadas son extensas, con algún *spot* de uranio imbricado en las mismas.

*Unidad de Riotinto (RT): los datos de la **tabla XI** indican un encajante cada vez más radiactivo a medida que nos desplazamos hacia sectores más orientales en la Unidad. El mapa ternario es pobre en anomalías de interés, con áreas bastante monótonas ya sean de alta o baja radiación.

X	Y	Hoja	NOMBRE	C	Su	Uni	K	U	Th	K/Th	U/Th	K*U/Th	U/K	G	M	ET
682500	4186500	937	Lomero-Poyatos	FA	S	CO	1.1	1.3	3.9	0.29	0.5	0.41	1.18	-	x	LP
686500	4185000	937	Confesionarios	Ep	S	CO	1.6	2.4	10.7	0.15	0.23	0.38	1.50	x	x	CF
679000	4185700	937	San Telmo	Ep	S	CO	2.0	2.3	12.5	0.16	0.19	0.38	1.18	x	x	ST
688800	4183600	937	Aguas Teñidas	Ep	S	CO	2.0	2.0	10.4	0.19	0.20	0.40	1.04	x	x	AT
682550	4185350	937	La Gallega	Ep	S	CO	2.3	1.9	9.7	0.24	0.20	0.47	0.81	x	x	GA
688400	4185300	937	Sorpresa	Ep	S	CO	2.4	2.2	8.8	0.28	0.26	0.64	0.93	x	x	SO
689100	4182200	937	Romanita	Ep	S	CO	2.5	0.8	5.1	0.49	0.17	0.43	0.35	-	x	RN
677700	4187100	937	El Carpio	Ep	S	CO	2.8	1.3	10.9	0.26	0.12	0.35	0.47	-	x	EC
682700	4183400	937	CICERON	Pz	Mn	CO	3.1	2.9	12.2	0.24	0.25	0.76	0.96	x	x	ci
688000	4186500	937	PALOMERA	Pz	Mn	CO	3.6	1.7	15.3	0.23	0.11	0.40	0.47	-	x	pa
678400	4178300	937	BODEGON	Ep	Mn	GP	1.5	1.4	7.4	0.20	0.19	0.29	0.93	-	x	bo
680600	4180500	937	ADELFITAS	Pz	Mn	GP	2.4	2.2	11.9	0.21	0.19	0.47	0.90	x	x	ad
675100	4177400	937	GUERRA	Ep	Mn	GP	2.5	2.3	14.1	0.18	0.17	0.42	0.94	x	x	fo
687000	4179100	937	FONTANILLA	Pz	Mn	GP	2.8	0.9	10.3	0.28	0.09	0.27	0.34	-	-	fo
676900	4178400	937	ANGEL	Pz	Mn	GP	3.0	2.3	10.4	0.29	0.22	0.68	0.75	-	x	an
674400	4181900	937	La Joya	Vb	S	GP	1.4	1.2	7.5	0.19	0.17	0.24	0.86	x	x	LJ
655000	4177200	936	San Juan	FA	S	GP	1.5	1.7	8.1	0.19	0.22	0.33	1.18	x	-	SJ
679400	4180500	937	Lancha-Roma	Ep	S	GP	1.6	1.8	9.6	0.17	0.19	0.31	1.08	-	x	LR
670700	4180800	937	El Risquillo	FA	S	GP	2.2	1.3	8.0	0.28	0.17	0.39	0.60	-	x	ER
665800	4176900	937	La Rica	Ep	S	GP	2.7	1.5	12.7	0.22	0.12	0.34	0.57	x	x	RI
648800	4172175	936	Rivera Malagón	Ep	S	GP	2.9	1.5	11.5	0.25	0.14	0.40	0.54	x	x	R
653800	4171600	936	La Sierrecilla	Ep	S	GP	2.9	2.1	11.4	0.26	0.19	0.56	0.73	-	x	SI
646700	4172500	936	La Romanera	Ep	S	GP	3.0	1.6	12.0	0.25	0.14	0.42	0.55	x	x	R
650600	4171700	936	Mina del Cura	Ep	S	GP	3.3	1.7	12.4	0.26	0.14	0.45	0.51	-	x	CU
677300	4175800	937	MADROÑOSA	Vb	Mn	RT	1.0	0.8	3.9	0.25	0.22	0.23	0.88	-	x	ma
677800	4175100	937	VENTEROS	Pz	Mn	RT	2.9	1.9	13.8	0.21	0.14	0.42	0.66	-	x	ve
688400	4175900	937	Perrunal	Ep	S	RT	3.5	2.1	14.8	0.24	0.14	0.50	0.61	x	x	PE
689200	4175950	937	La Zarza	Ep	S	RT	4.1	2.8	17.0	0.25	0.17	0.69	0.67	x	x	ZA

Tabla XI. Situación radiométrica de indicios y minas de las hojas 936 y 937.

Contenidos de potasio (K: %), uranio (U: ppm) y torio (Th: ppm), y ratios respectivos. C: roca de caja. Su: sustancia. Uni: unidad. G/M: presencia de anomalía gravimétrica/magnética de gradiente vertical (ver texto). ET: etiqueta del indicio en mapas.

En resumen, un primer análisis de los datos del registro radiométrico aéreo indica que éstos no son tan interesantes como en otras zonas de la Faja Pirítica por lo que respecta a posibilidades de investigación minera: en general, tanto en las Unidades de Concepción como en Gibraltar-Panera, las minas e indicios más importantes aparecen en contextos de baja radiación, con ratios interelementales equilibrados, sin que exista ningún *spot* radiactivo mono o plurielemental claramente asociado a indicio alguno. Estos *spots* de los mapas radiométricos deben representar anomalías posiblemente explicables por controles litoestructurales simples.

En el resto de áreas, el C.V.S. es más radiactivo pero parece que ni los indicios provocan entornos radiométricos específicos, ni existen anomalías de textura fácilmente destacable.

3.3. MODELOS DE CARTOGRAFÍAS GEOFÍSICAS

3.3.1. INTRODUCCIÓN

En los apartados anteriores 3.1. y 3.2. se han delineado los principales rasgos de la interpretación geológica de campañas de geofísica aeroportada de alta resolución, radiométricas y magnéticas, y de gravimetría terrestre, en el Dominio Noroccidental de la Faja Pirítica, apreciándose las valiosas aplicaciones cartográficas de los métodos geofísicos utilizados. Es evidente que el registro radiométrico aéreo, por la naturaleza geoquímica del método y las pautas que sigue la distribución litológica de los elementos radiactivos naturales, ofrece una imagen superficial que muestra un elevado grado de correlación con las cartografías geológicas disponibles. Por ello, suelen resultar bastante claras las concordancias y discrepancias de aquel registro respecto a estas cartografías, sirviendo el primero para corregir a éstas siempre que las anomalías aeroportadas se interpreten con auxilio de datos espectrométricos sobre el terreno. El uso conjunto de la radiometría gamma natural aeroportada y en tierra permite, mediante las metodologías adecuadas, el análisis e identificación litológica de las zonaciones espectrométricas para el esbozo de propuestas cartográficas de superficie de las unidades geológicas estudiadas a la escala de que se trate (v.g., cartografía de una hoja topográfica, de una unidad litoestratigráfica o volcanosedimentaria, o de un complejo intrusivo).

Si la cartografía radiométrica aérea es, en general, una muy buena aproximación a la geología de superficie (al mapa geológico, por tanto), la cartografía de campos potenciales lo es a la geología del subsuelo, siempre que la información de la distribución de densidades y susceptibilidades magnéticas en el subsuelo discrimine la litología y estructura de la región estudiada. Un apoyo de primer orden a la cartografía de superficie lo constituye el análisis de las zonaciones de las anomalías magnéticas y gravimétricas, el de sus ejes de máximo y mínimo, y el de sus gradientes y sus discontinuidades; análisis que se convierte en imprescindible en diversos aspectos de cartografía del subsuelo (prolongación de accidentes estructurales, continuidad bajo cobertera, estructura de basamento, distribución de masas anómalas y modelizaciones de las mismas, etc). Conviene señalar que, tanto desde la óptica de cartografía superficial como desde la de cartografía del subsuelo, los datos aeromagnéticos de alta resolución ofrecen un nivel de detalle importante, como se ha apreciado en las descripciones anteriores en la zona de estudio (superior al de la gravimetría; en cambio ésta resulta imprescindible para la delineación de la arquitectura en profundidad de la zona estudiada).

Por todas estas razones cualquier programa cartográfico moderno debe tener en cuenta los datos aeroportados disponibles sobre la zona de que se trate.

3.3.2. CARTOGRAFÍAS PROPUESTAS

No es objetivo del presente trabajo el realizar propuestas de cartografías geofísicas que sirvan para complementar o mejorar programas de cartografía geológica. En cambio, se pretende obtener cartografías geofísicas de utilidad en investigación minera en el sector estudiado de la Faja Pirítica. Los modelos cartográficos (imágenes residuales gravimétricas y magnéticas, mapas de derivadas, imágenes radiométricas de máximo y mínimo, de ratios, etc) se integrarán con los de las cartografías del resto de los datos multidisciplinares del Proyecto de exploración regional y delimitación de zonas anómalas en dicho sector, Proyecto donde se enmarcan los trabajos geofísicos que se describen aquí.

De acuerdo con los datos de petrofísica y el análisis realizado en los apartados anteriores 3.1. y 3.2., por lo que respecta a las anomalías regionales, de longitudes de onda entre 3 y 10 km o más, sabemos que:

a) Las anomalías gravimétricas reflejan la importancia volumétrica de rocas más pesadas de la Fm. Andesítico-dacítica ($d > 2.7 \text{ g/cm}^3$), y de los *sills* basálticos ($d > 2.8 \text{ g/cm}^3$), frente a las masas más ligeras de volcanitas ácidas y metasedimentos ($d < 2.65 \text{ g/cm}^3$);

b) Las anomalías magnéticas, con una capacidad resolutive muy grande, constituyen un excelente medio de cartografía de los materiales más básicos (y de los jaspes) del Complejo Volcano Sedimentario, C.V.S. El grado de correspondencia de las anomalías magnéticas con las anomalías de gravedad es elevado;

c) Los contenidos en potasio, uranio y torio pueden calificarse de bajos a moderados en el espectro litológico que va de las volcanitas masivas intermedio-básicas a las tobas y epiclastitas ácidas del C.V.S. (excluyendo a las riolitas), de forma que el registro radiactivo del mismo alcanza intensidades intermedio-bajas en el mapa radiométrico ternario.

Por tanto, el contexto regional en el que se insertan los indicios mineros se caracteriza por su baja-moderada radiación, y por sus anomalías de campo potencial de fuente basáltica que frecuentemente enmascaran las señales locales que pudieran producir los indicios.

En este contexto regional del Dominio Noroccidental de la Faja Pirítica son frecuentes las anomalías radiométricas y de campo potencial de pequeña longitud de onda (λ menor que 2 km), que aparecen en entornos diversos desde el punto de vista de su eventual asociación con los indicios y minas de la Faja:

-Las anomalías gravimétricas y magnéticas de pequeña longitud de onda más notorias se encuentran en los ejes anómalos producidos por volcanitas básicas. No obstante, existen muchas anomalías donde la relación con éstas no es directa, de acuerdo con la geología de superficie.

-Los *spots* radiactivos son potásicos y típicos de riolitas, y en menor medida, de tobas y epiclastitas ácidas. No existen indicios sobre este tipo de anomalías (aunque sí en sus proximidades).

-El contenido más elevado en altas frecuencias lo presenta el mapa magnético reducido al polo. Todo el C.V.S. puede considerarse como un área magnética activa. Aparentemente, el mapa magnético constituye un buen elemento de referencia para la prospección minera, tanto por lo que respecta a contenido anómalo, como a la asociación de este contenido con los indicios.

Por otro lado, debe tenerse en cuenta que casi todos los indicios se ubican en las proximidades de accidentes estructurales mayores (v.g., 19 de 24 indicios de la hoja 937 en bandas de cizalla de esta hoja). Por tanto, en este trabajo se han utilizado cartografías geofísicas que realzan las anomalías de baja longitud de onda incorporando la información de límites de las principales unidades volcánicas, bandas de cizalla y ejes de campo potencial. Esto es precisamente lo que se ha efectuado en los apartados 3.1. y 3.2. con los mapas gravimétrico (total y residual), magnético reducido al polo y radiométrico ternario para la apreciación visual de la situación de las anomalías de detalle. El realce de las anomalías de alta frecuencia ($\lambda < 2 \text{ km}$) puede obtenerse de diversas formas. En el caso de campos potenciales, normalmente a través de filtrados pasa-alta y/o derivación (Geosoft 1997a-b), y en el caso de la radiometría aeroportada, por medio de procedimientos estadísticos de selección de anomalías (Jayawardhana y Sheard, 2000).

En este estudio, tras la realización de diversos ensayos metodológicos con esquemas que combinaban diversos tipos de filtrados pasa-alta, derivadas direccionales y señal analítica, se ha optado por un esquema simple de obtención de una derivada vertical tras la aplicación de un filtrado pasa alta de 5 km, tanto para la anomalía de Bouguer como para el mapa magnético (**figuras 29 y**

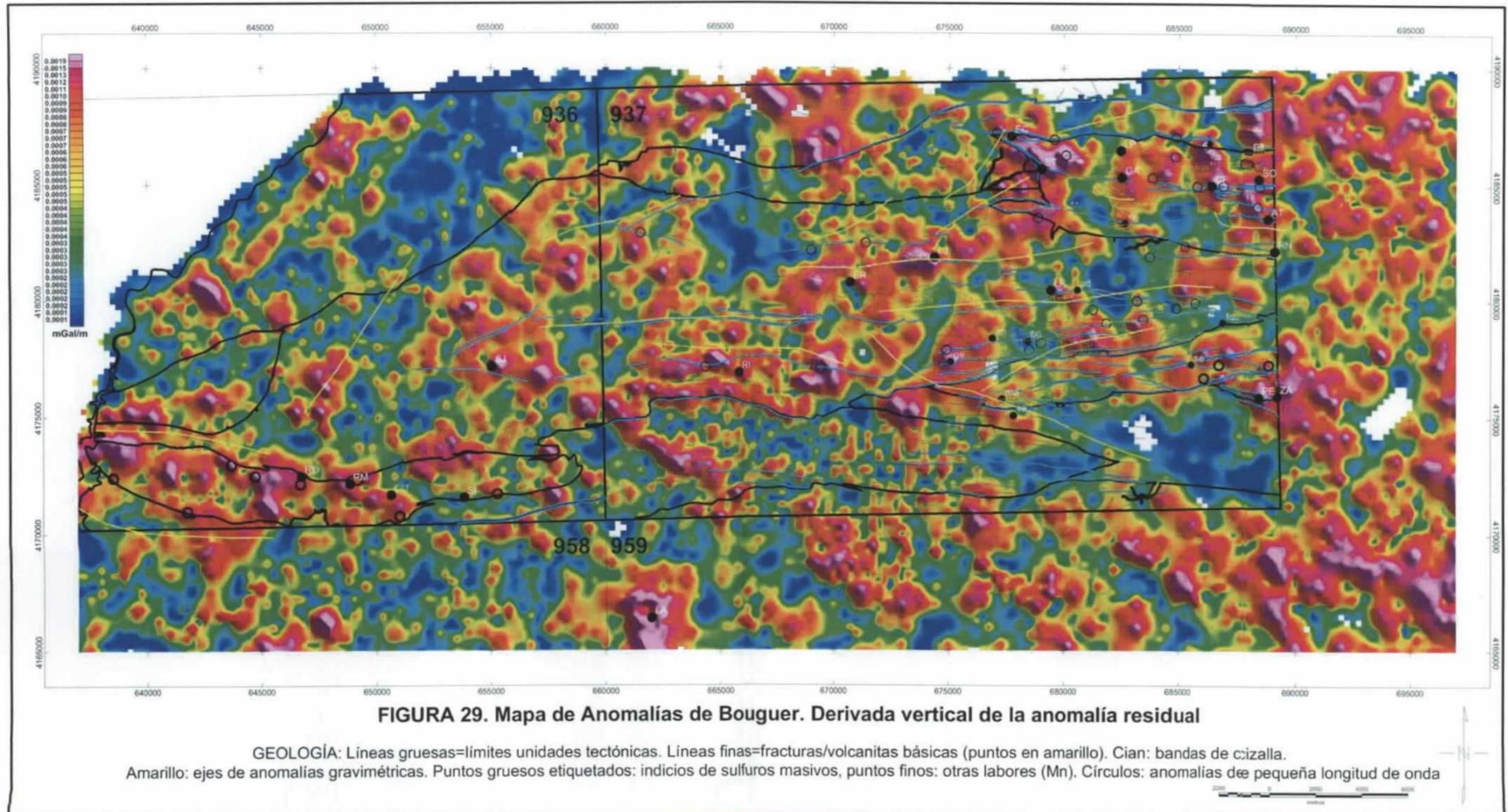
30). En general, el gradiente vertical proporciona la mejor indicación de fuentes magnéticas próximas a la superficie, resolviendo problemas de interferencia y definición de límites de cuerpos anómalos, y de delimitación de anomalías de pequeña longitud de onda que pueden tener interés minero. Como se observa en la **tabla XI**, la mayoría de los indicios de sulfuros (12 entre 19) se ubica en zonas de anomalía de gradiente vertical de gravedad (tomando como umbral anómalo la media más una desviación típica de la malla de gradiente, igual a 0.0011 mGal/m; tonos rojos en **figura 29**). En el caso del gradiente vertical magnético todos los indicios menos dos (**tabla XI**) se ubican en zonas de anomalía (tomando como umbral la media más una desviación típica de la malla de gradiente, igual a 0.0010 nT/m; tonos rojos en **figura 30**). Obsérvese que toda la Unidad de Concepción es muy anómala, especialmente entre las cizallas Norte de la Unidad y la de Aguas Teñidas-La Gallega-San Telmo. No obstante, hay que tener en cuenta que el gradiente vertical suele ofrecer buenas respuestas en el caso de estructuras lineales anómalas (v.g. estratificación, diques elongados) y de las fallas que las interrumpen. En efecto, la derivada del campo magnético está dominada por respuestas provenientes de lineaciones de rocas básicas, que también son visibles, más disimuladas cuando la fuente es más masiva, en la derivada gravífica (v.g., lineación de La Joya, lineaciones del límite Sur de la Unidad de Gibraltar-Panera). Todo ello implica, como no puede ser de otro modo, que en los mapas derivados se reflejan controles litoestructurales importantes.

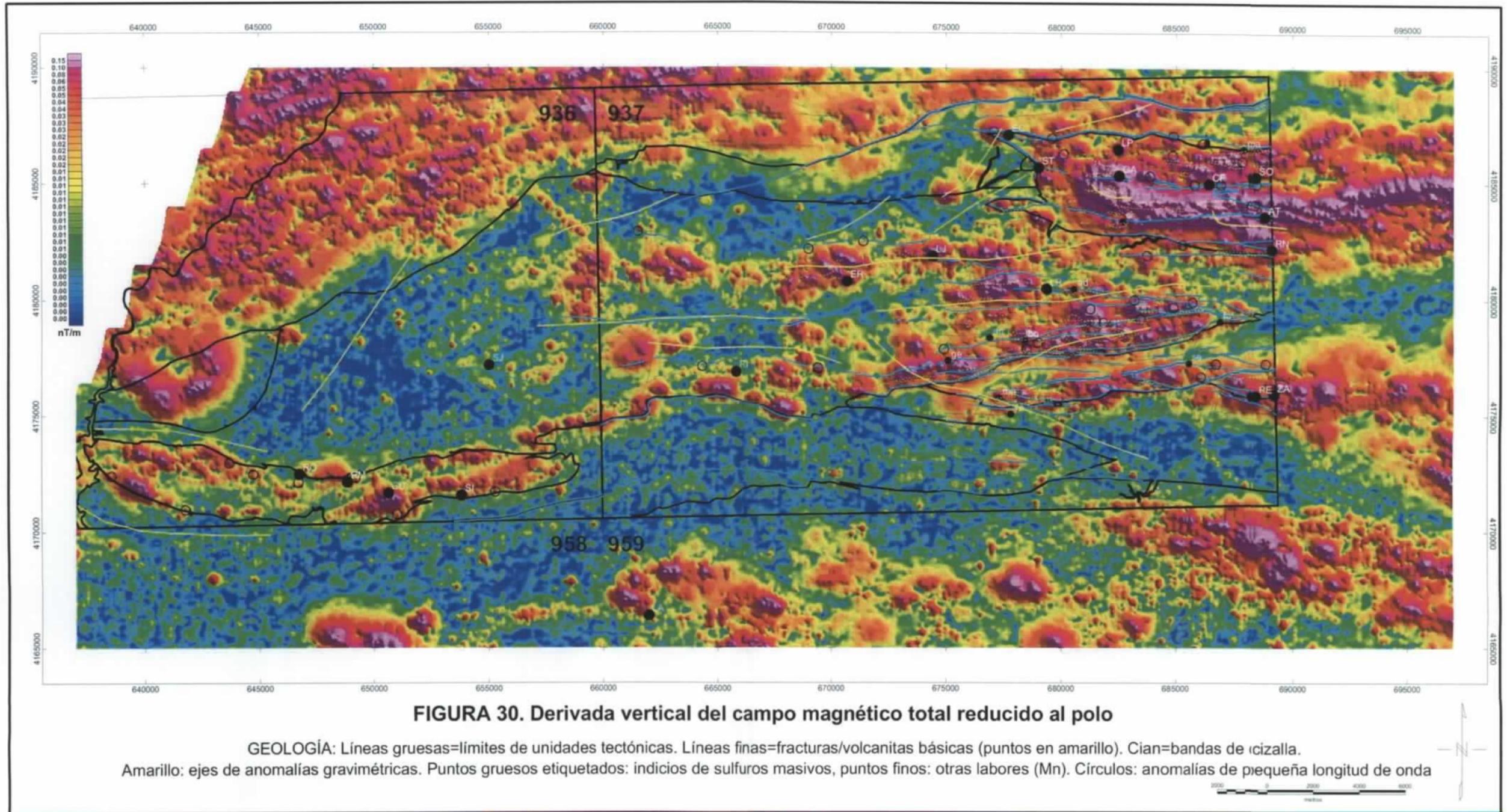
Para la selección de anomalías en el caso de la radiometría aeroportada, en zonas prácticamente restringidas a áreas de C.V.S., primero se calcula la media y la desviación estándar para todo el conjunto de las mallas de datos, respectivamente, de K, U, y Th. Después, todos los valores que exceden de la media más una desviación estándar se eliminan y se calcula una nueva media y desviación estándar. Dos o tres sucesivas eliminaciones de los valores extremos son suficientes para aproximar el valor “verdadero” de la media y desviación típica de los datos de fondo (“base regional”). Una vez determinado éste, la definición de anomalías de máximo y mínimo radiométrico se lleva a cabo por selección de valores superiores o inferiores a los de la media “verdadera” más o menos 1, 2 ó 3 desviaciones típicas. Los resultados se expresan en la siguiente tabla:

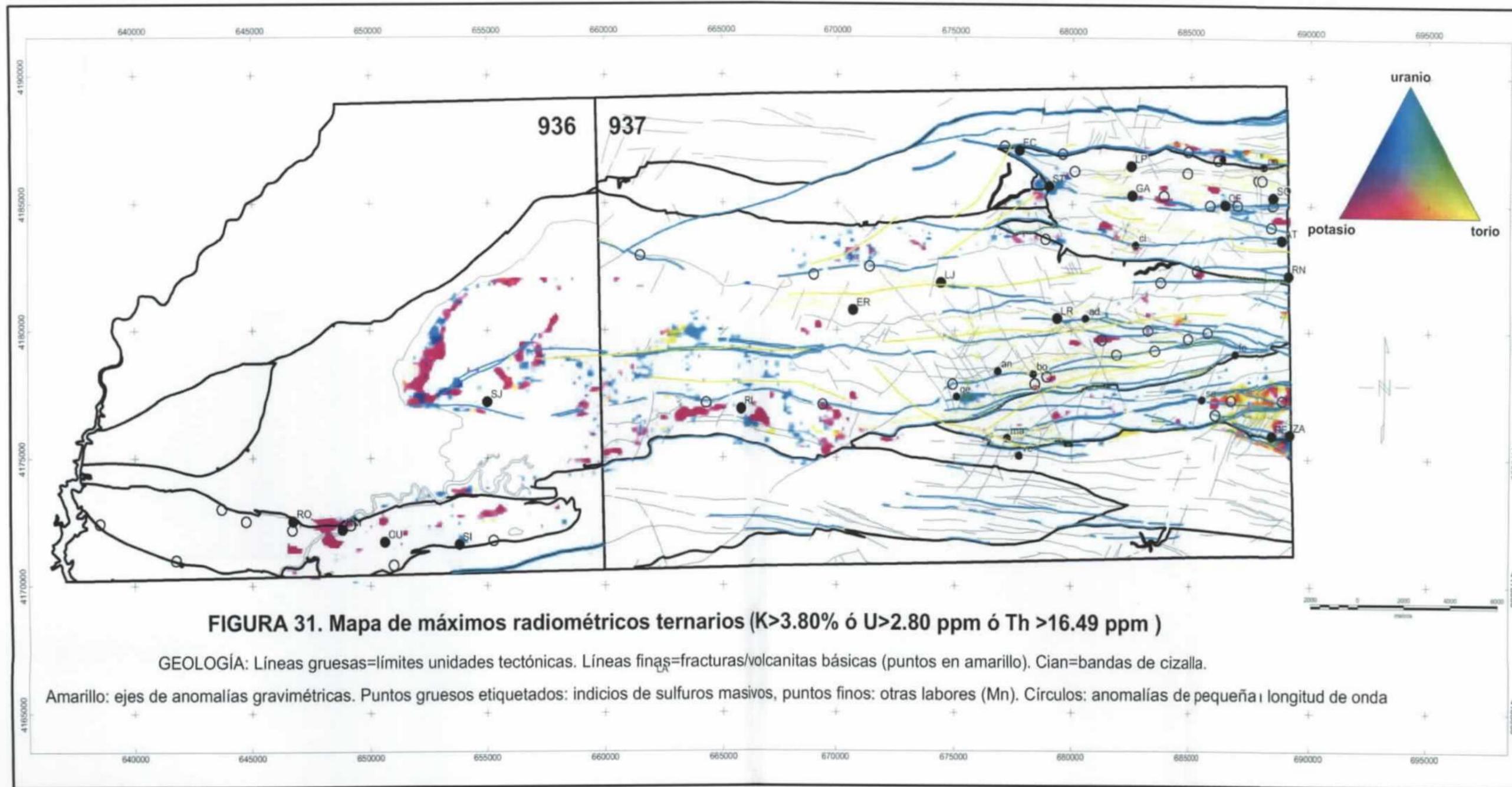
K (%)			Puntos de corte			Th (ppm)			Puntos de corte			U (ppm)			Puntos de corte		
Rango	μ_t	s_t	$\mu_f + s_f$	$\mu_f + 2s_f$	$\mu_f + 3s_f$	Rango	μ_t	s_t	$\mu_f + s_f$	$\mu_f + 2s_f$	$\mu_f + 3s_f$	Rango	μ_t	s_t	$\mu_f + s_f$	$\mu_f + 2s_f$	$\mu_f + 3s_f$
	μ_f	s_f	$\mu_f - s_f$	$\mu_f - 2s_f$	$\mu_f - 3s_f$		μ_f	s_f	$\mu_f - s_f$	$\mu_f - 2s_f$	$\mu_f - 3s_f$		μ_f	s_f	$\mu_f - s_f$	$\mu_f - 2s_f$	$\mu_f - 3s_f$
0-	2.84	0.81	3.37	3.80	4.23	1.1-	12.7	3.12	15.0	16.5	18.1	0-	2.03	0.66	2.44	2.80	3.16
7.1	2.94	0.43	2.51	2.08	1.65	21.3	13.4	1.57	11.8	10.2	8.64	5.17	2.08	0.36	1.72	1.36	1.00

Tabla XII Promedios y desviaciones totales (μ_t, s_t), de fondo (μ_f, s_f) y puntos de corte máximo y mínimo de la zona de estudio (a una, dos y tres desviaciones típicas s_f)

En la **figura 31** se presentan los máximos radiométricos a dos desviaciones típicas, es decir las zonas donde $K > 3.80\%$ ó $U > 2.80$ ppm ó $Th > 16.5$ ppm (puntos de corte que son muy similares a los establecidos para los máximos en la descripción cualitativa del apartado 3.2.). Como ya se ha mencionado con anterioridad, la mayoría de los indicios y minas no producen anomalías radiométricas; en cambio, algunas de las anomalías de detalle de campo potencial ($\lambda < 2$ km), en banda de cizalla, coinciden con zonas potasificadas, lo que en principio, refuerza el interés de éstas. Se sugiere, por tanto, un control estructural de ciertas potasificaciones de las volcanitas del C.V.S. que podría ser investigado con más detalle, como se describe en el próximo capítulo.







4. PETROFÍSICA DE DETALLE EN EL SECTOR NORESTE DE LA HOJA 937

4.1. INTRODUCCIÓN

El objetivo planteado en este trabajo es la optimización de la interpretación geológico-minera de campañas de geofísica aeroportada de alta resolución, magnéticas y radiométricas, y de gravimetría terrestre, tanto a escala regional-estructural como a escala de detalle minero. Dicha optimización se realiza incorporando en los procesos de tratamiento, interpretación y modelado la determinación de las propiedades físicas de las rocas que, con sus contrastes naturales, producen las anomalías registradas por los sensores magnéticos, radiométricos, y gravimétricos.

La necesidad de trabajar a distintas escalas surge porque la densidad de recogida de datos en la muestra regional puede ser insuficiente para la caracterización del entorno minero, especialmente si éste muestra grandes variaciones en su carácter petrofísico. Este puede ser el caso de las propiedades magnéticas, dada la gran heterogeneidad característica de un parámetro como la susceptibilidad magnética, pero sobre todo, de las propiedades radiactivas en entornos típicos de la Faja Pirítica que exhiben una gran variabilidad radiométrica dentro de litologías relativamente homogéneas (como se ha descrito más arriba en el capítulo 2.3). Es evidente que medidas puntuales relativamente dispersas pueden resultar insuficientes para la evaluación de las potencialidades mineras del reciente vuelo de alta resolución en la Faja Pirítica, especialmente por lo que se refiere a la espectrometría gamma natural.

Además, en el trabajo de detalle se pueden abordar aspectos metodológicos no contemplados, o de difícil ejecución, en el muestreo regional, como la realización de medidas de radiación gamma natural en tierra (según perfiles, en áreas restringidas, del orden de 0.5-2 km²), con el espectrómetro en modo de operación “de paseo”.

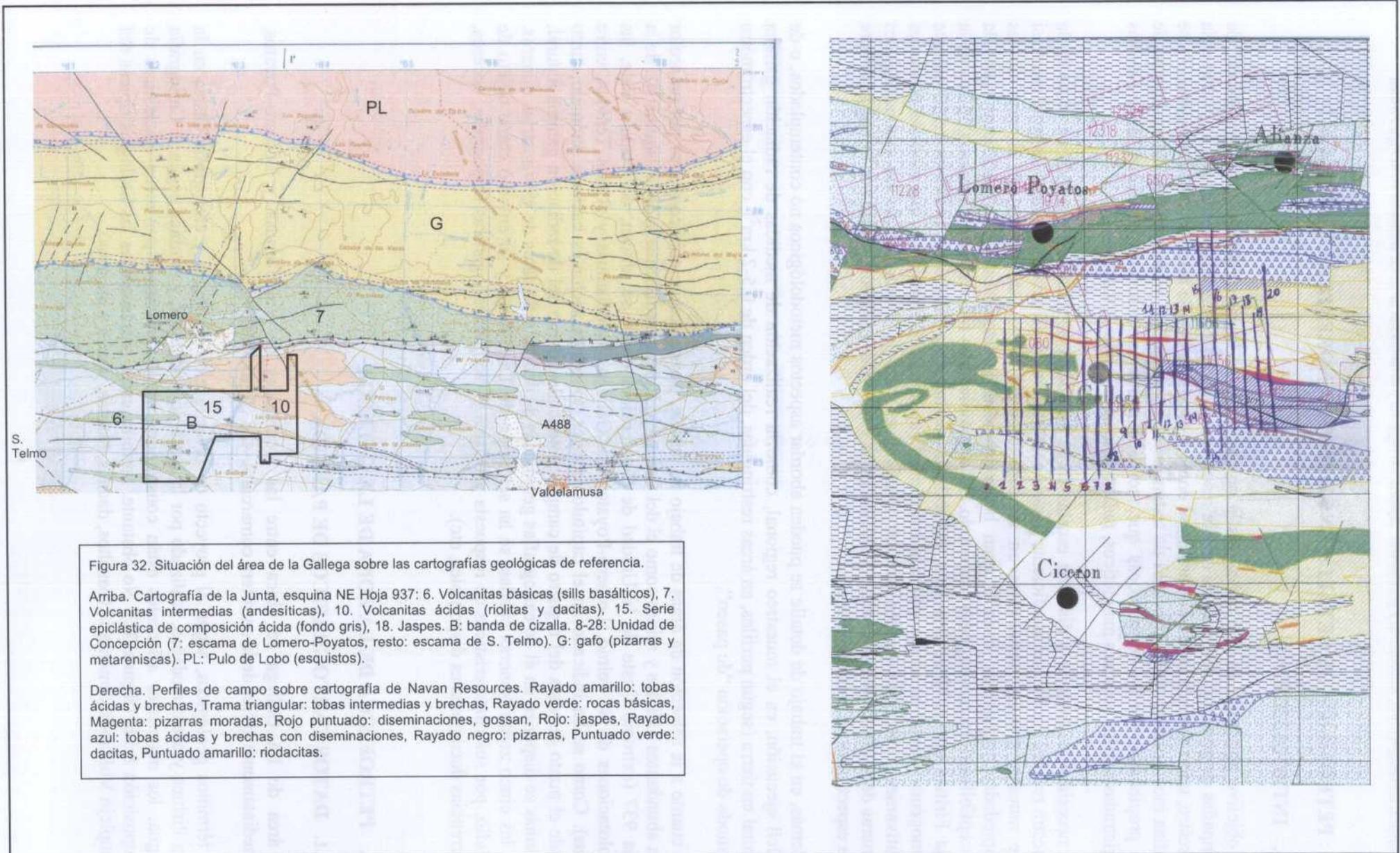
En cuanto a la selección de áreas de trabajo de detalle, parece aconsejable comenzar por un sector con abundantes indicios y minas como el del Complejo Volcanosedimentario de la esquina NE de la hoja 937 (extremo Oeste de la Unidad de Concepción, donde se ubican, de Oeste a Este, las explotaciones de S. Telmo, Lomero-Poyatos, La Gallega, Valdelamusa y Aguas Teñidas, entre otras). Como se ha indicado en el capítulo anterior, todo este sector es bastante anómalo, tanto desde el punto de vista del registro de campos potenciales, como del de radiación gamma natural. Además se disponen en él de cartografías geológicas de detalle y de datos de gravimetrías mineras. De las cinco zonas mineras citadas, se ha seleccionado La Gallega y su entorno como objeto de estudio, por sus características de respuesta geofísica y facilidades logísticas (topografía, accesos, referencias documentales disponibles, etc).

4.2. PETROFÍSICA DE LA ZONA DE LA GALLEGA

4.2.1. DATOS CARTOGRÁFICOS DE PARTIDA

El área de La Gallega se ubica entre las localidades de Valdelamusa y Lomero-Poyatos, inmediatamente al Sur de la carretera comarcal A-488 (**figura 32**).

En términos geológicos, según el proyecto de Investigación geológica y cartografía básica en la Faja Pirítica y áreas aledañas, realizado por la Junta de Andalucía, y también según la Cartografía Magna, los materiales aflorantes están constituidos mayoritariamente por rocas epiclásticas de composición ácida (**figura 32**). No obstante, también están representadas las litologías típicas del Complejo Volcanosedimentario (basaltos, dacitas, riolitas, jaspes y pizarras).



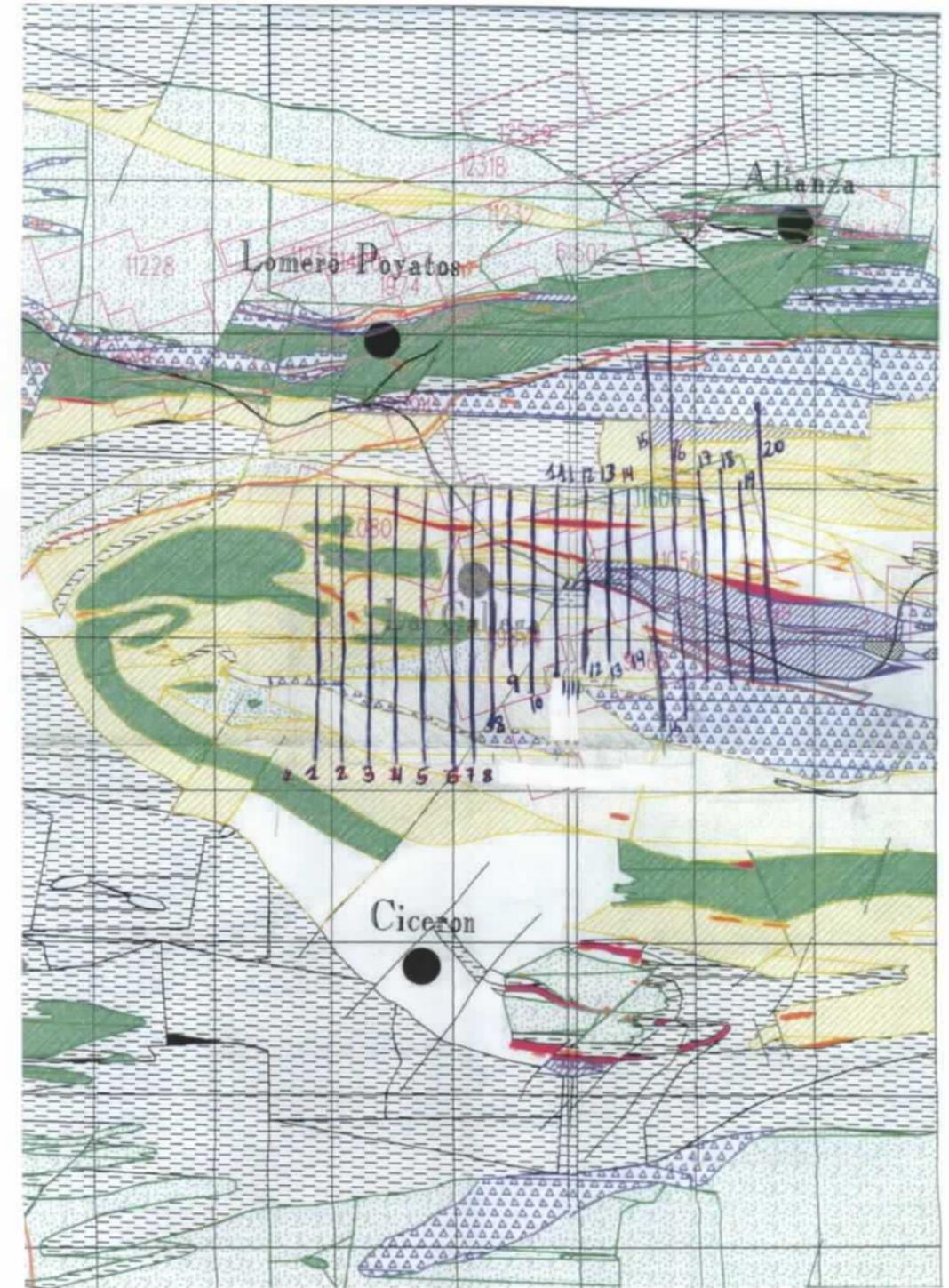
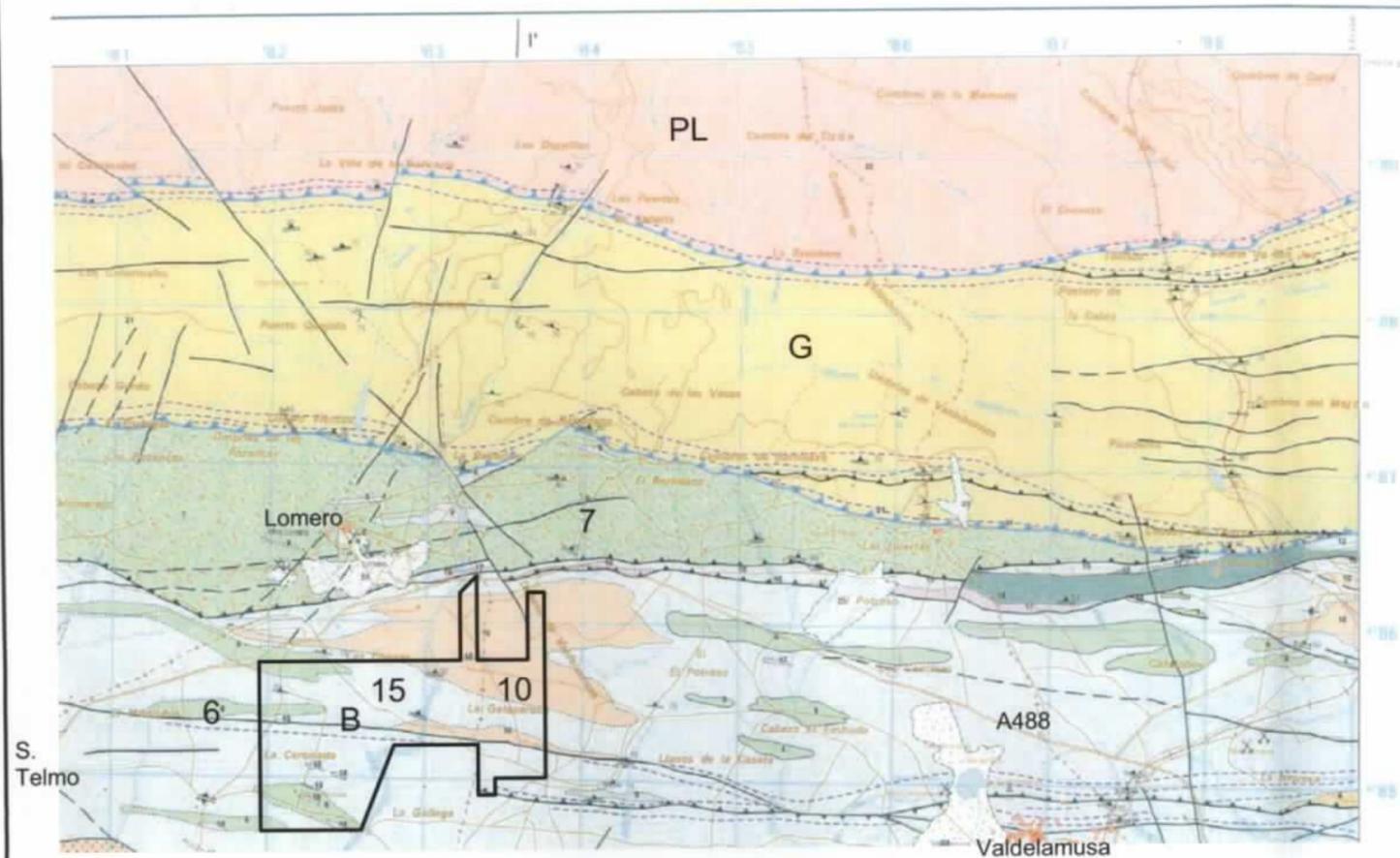


Figura 32. Situación del área de la Gallega sobre las cartografías geológicas de referencia.

Arriba. Cartografía de la Junta, esquina NE Hoja 937: 6. Volcanitas básicas (sills basálticos), 7. Volcanitas intermedias (andesíticas), 10. Volcanitas ácidas (riolitas y dacitas), 15. Serie epiclástica de composición ácida (fondo gris), 18. Jaspes. B: banda de cizalla. 8-28: Unidad de Concepción (7: escama de Lomero-Poyatos, resto: escama de S. Telmo). G: gafo (pizarras y metareniscas). PL: Pulo de Lobo (esquistos).

Derecha. Perfiles de campo sobre cartografía de Navan Resources. Rayado amarillo: tobas ácidas y brechas, Trama triangular: tobas intermedias y brechas, Rayado verde: rocas básicas, Magenta: pizarras moradas, Rojo puntuado: diseminaciones, gossan, Rojo: jaspes, Rayado azul: tobas ácidas y brechas con diseminaciones, Rayado negro: pizarras, Puntuado verde: dacitas, Puntuado amarillo: riodacitas.

Del área de La Gallega se dispone de una cartografía geológica de carácter minero (**figura 32**), proporcionada por Navan Resources Huelva, S.A., titular del permiso de investigación "Valdelamusa" que engloba la zona de La Gallega. A esta cartografía minera se hará referencia en la descripción de las imágenes geofísicas que se realiza más abajo.

Asímismo (por último no me parece adecuado porque en las secciones siguientes sigues hablando de La Gallega), en la zona de La Gallega se ubican varios indicios y labores mineros (un pozo y algunas calicatas), todos en las proximidades de un camino según un ferrocarril minero hoy desmantelado. Estas labores serán mencionadas más adelante.

4.2.2. DENSIDAD Y SUSCEPTIBILIDAD

La muestra de la zona de La Gallega se compone de 83 ejemplares. Los resultados de densidad y susceptibilidad se sintetizan, comparándolos con los de la muestra regional, en la **tabla XIII**.

LITOLÓGIA	N	L	kmi	kmx	kmp	kmf1	kmf2	kmf3	dmi	dmx	dm	dmd
BASALTOSg	6	4	192	2433	192	330	1215	2433	2.68	2.89	2.80	2.82
BASALTOSr	46	33	27	6014	77	534	1283	3829	2.56	3.09	2.82	2.89
DACITASg	20	4	9	314	38	314	-	-	2.52	2.81	2.69	2.70
DACITASr	77	53	2	135	36				2.48	2.86	2.73	2.73
RIOLITASg	9	2	12	958	45	267	838	-	2.49	2.66	2.59	2.60
RIOLITASr	69	46	3	2857	32	542	1107		2.32	2.75	2.61	2.59
TOBAS ÁCIDASg	25	4	5	103	24	-	-	-	2.41	2.68	2.58	2.58
TOBAS ÁCIDASr	65	30	2	480	22	414			2.10	2.68	2.55	2.55
TOBAS INTER.g	17	12	3	470	48	435	-	-	2.59	2.84	2.71	2.71
TOBAS INTER.r	13	8	9	48	27				2.56	2.82	2.72	2.71
JASPESg	6		35	3712	109	522	899	3092	2.76	2.97	2.86	2.84
JASPESr	15	9	23	8536	100	589	1455	5661	2.59	2.99	2.82	2.80

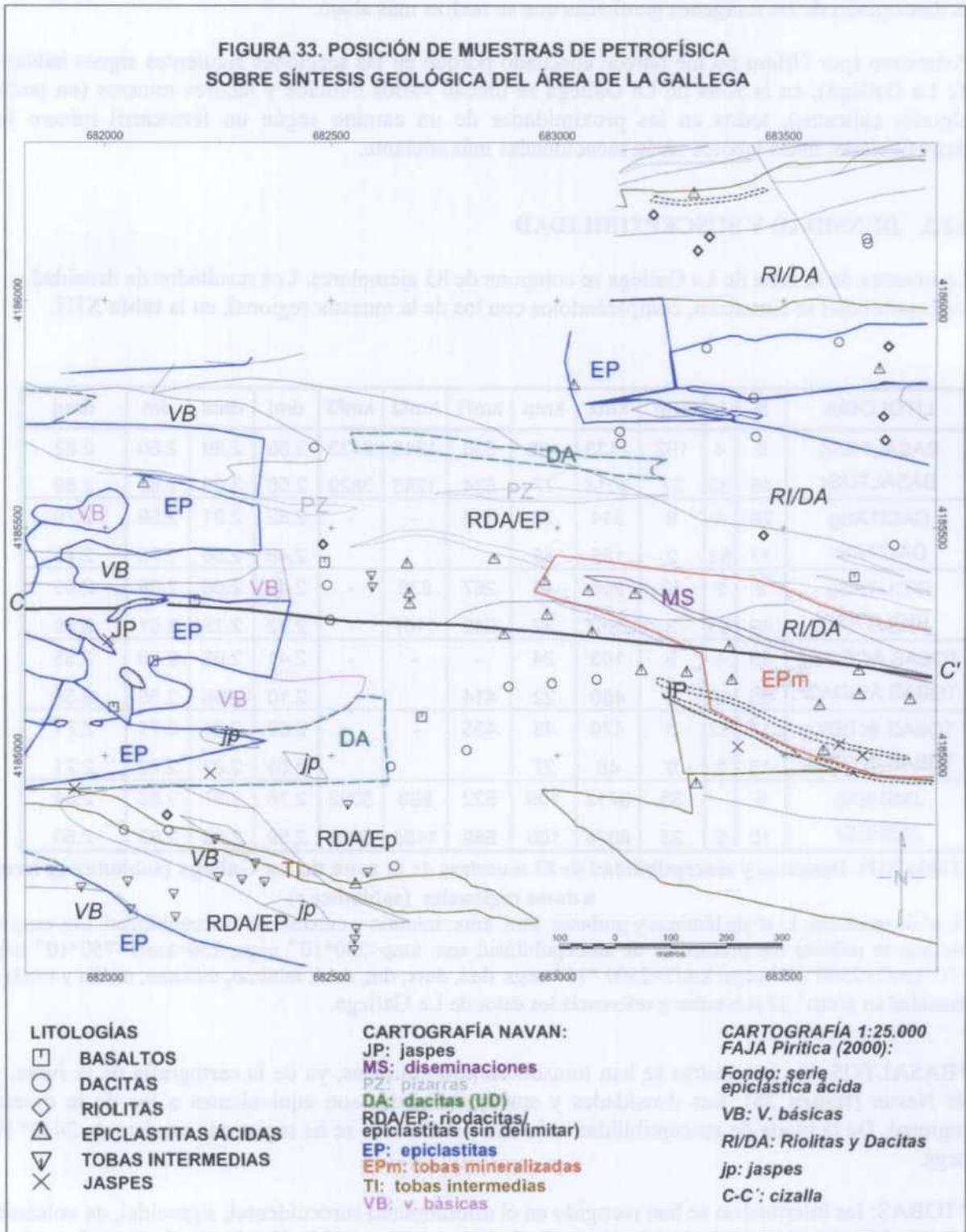
Tabla XIII. Densidad y susceptibilidad de 83 muestras de la zona de La Gallega (subíndice g) frente a datos regionales (subíndice r)

N: nº de muestras. L: nº de láminas y probetas. kmi, kmx: mínimo y máximo de susceptibilidad. Los rangos a los que se refieren los promedios de susceptibilidad son: $kmp < 250 \cdot 10^{-6}$ ucs; $250 < kmf1 < 750 \cdot 10^{-6}$ ucs; $750 < kmf2 < 2500 \cdot 10^{-6}$ ucs; $kmf3 > 2500 \cdot 10^{-6}$ ucs. dmi, dmx, dm, dmd: mínimo, máximo, media y moda de densidad en g/cm^3 . El subíndice g referencia los datos de La Gallega.

*BASALTOS: las 6 muestras se han tomado en afloramientos, ya de la cartografía de la Junta, ya de Navan (**figura 33**). Las densidades y susceptibilidades son equivalentes a los de la muestra regional. De la moda de susceptibilidad más alta (kmf3) sólo se ha registrado un dato de $2433 \cdot 10^{-6}$ ucs.

*TOBAS: las intermedias se han recogido en el afloramiento suroccidental, sigmoidal, de volcánitas básicas (sills basálticos) según la cartografía de la Junta (**figura 33**). En el caso de este afloramiento no se trata de un sill basáltico, sino de tobas intermedias de carácter andesítico fuertemente milonitizadas. Son rocas de densidad intermedia, petrofísicamente similares a las tobas regionales (**tabla XIII**), si bien no son totalmente paramagnéticas, ya que exhiben una moda ligeramente ferromagnética de $435 \cdot 10^{-6}$ ucs. Las tobas y epiclastitas ácidas son ligeras y paramagnéticas, también muy similares a las tobas regionales.

FIGURA 33. POSICIÓN DE MUESTRAS DE PETROFÍSICA SOBRE SÍNTESIS GEOLÓGICA DEL ÁREA DE LA GALLEGA



*DACITAS: estas rocas aparecen de manera dispersa en la zona de La Gallega, encontrándose muy mezcladas con epiclastitas ácidas y riolitas. Son muestras con propiedades características de esta litología en la Faja, muy parecidas a las de las dacitas regionales de la Fm. Andesítico-dacítica, tal vez algo más ligeras (**tabla XIII**).

*RIOLITAS: existen riolitas de varios colores (crema, verde), pero las más abundantes en la zona de La Gallega son las negras, que exhiben la moda ferromagnética intermedia ($k_{mf1} = 838 \cdot 10^{-6}$ ucs) ya detectada en la muestra regional (**tabla XIII**).

En resumen, desde el punto de vista de la densidad aparente y la susceptibilidad magnética, en el área de La Gallega encontramos directrices parecidas a las observadas en la muestra regional (**figura 34**): las rocas ácidas e intermedias tienden a ser paramagnéticas (sólo con modas débilmente ferromagnéticas), mientras que los basaltos y jaspes deben ser los responsables de las anomalías magnéticas presentes, si bien las susceptibilidades registradas de estas dos litologías son ligeramente inferiores a los valores obtenidos en la muestra regional. Los sills básicos causarán las anomalías de gravedad de la zona estudiada.

Las anomalías magnéticas del área de La Gallega (**figura 35**) superan los 100 nT, encontrándose entre las más intensas en el contexto de la Faja Pirítica. La longitud de onda de las anomalías sobrepasa en general el kilómetro, de modo que se pueden excluir los jaspes como causantes de las mismas. Las anomalías más importantes ocurren sobre los bordes Oeste y Sur del área, formando parte del gran arco anómalo de geometría periclinal que en toda la escama de San Telmo (segmento central de la Unidad de Concepción en el NE de la hoja 937), y pueden asociarse con facilidad con los afloramientos de sills básicos de las cartografías disponibles. En efecto, la anomalía más importante de La Gallega aparece sobre su cuadrante noroccidental, donde los basaltos, mezclados con tobas y epiclastitas, son más abundantes tanto en la cartografía de La Junta de Andalucía como en la de Navan. Esta anomalía, de unos 150 nT, podría ser causada por una placa subaflorante de espesor hectométrico con susceptibilidad próxima a $2000 \cdot 10^{-6}$ ucs (1% de Fe_3O_4).

Algo más complejo es atribuir un origen a las anomalías magnéticas del borde Este de La Gallega. La anomalía de la esquina NE aparece bajo el contacto de riolitas y epiclastitas, a una profundidad de unos 150-250 m. La anomalía central-Este aparece en el mismo contexto geológico, a una profundidad del orden de la mitad que la anterior. Podría producirse una gran masa de riolitas negras, pero esta masa no está reflejada en la cartografía. Por otra parte, la coincidencia de estas anomalías con respuestas gravimétricas positivas (**figura 36**) es definitiva para adjudicarlas a sills básicos restringidos ubicados a profundidad moderada, del orden de las citadas más arriba.

Las anomalías gravimétricas residuales (**figura 36**; datos procedentes de Navan Huelva, adquiridos en perfiles N-S separados 200 m, con estaciones cada 50 m) permiten dividir el área de la La Gallega en dos sectores: el nororiental dominado por mínimos, es decir, por litologías ácidas, y el suroccidental, dominado por máximos, que deben reflejar la presencia de abundantes sills básicos (ferromagnéticos en el cuadrante noroccidental, como acabamos de ver, paramagnéticos en el resto). Las anomalías causadas por estos sills son de longitud de onda elevada, subaflorantes y con casi 1 mGal de intensidad, de modo que placas apenas hectométricas de basaltos/diabasas de un contraste de densidad de unos 0.3 g/cm^3 con las tobas y epiclastitas con las que se encuentren mezcladas, son un modelo verosímil para las mismas (alternativamente, placas algo más potentes de dacitas con un contraste de unos 0.15 g/cm^3 , **tabla XIII**, podrían contribuir al origen de las anomalías; estos modelos deben tener en cuenta la existencia de rocas basálticas ferromagnéticas para explicar las anomalías magnéticas del área).

ROCAS VOLCÁNICAS BÁSICAS, ÁCIDAS Y JASPES

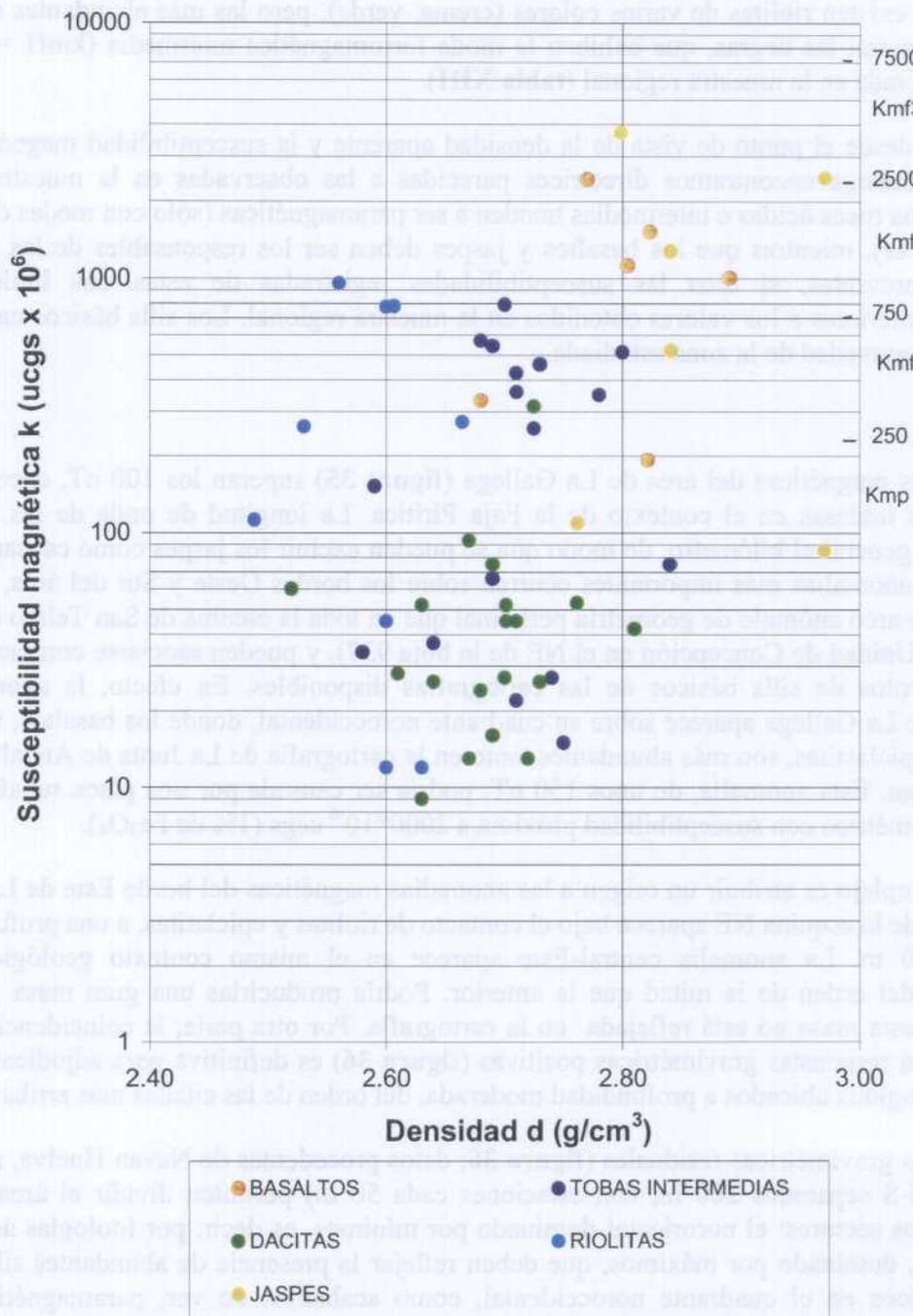


Figura 34. Diagrama densidad - susceptibilidad de 83 muestras del área de la Gallega

FIGURA 35. CAMPO MAGNÉTICO REDUCIDO AL POLO DEL ÁREA DE LA GALLEGA

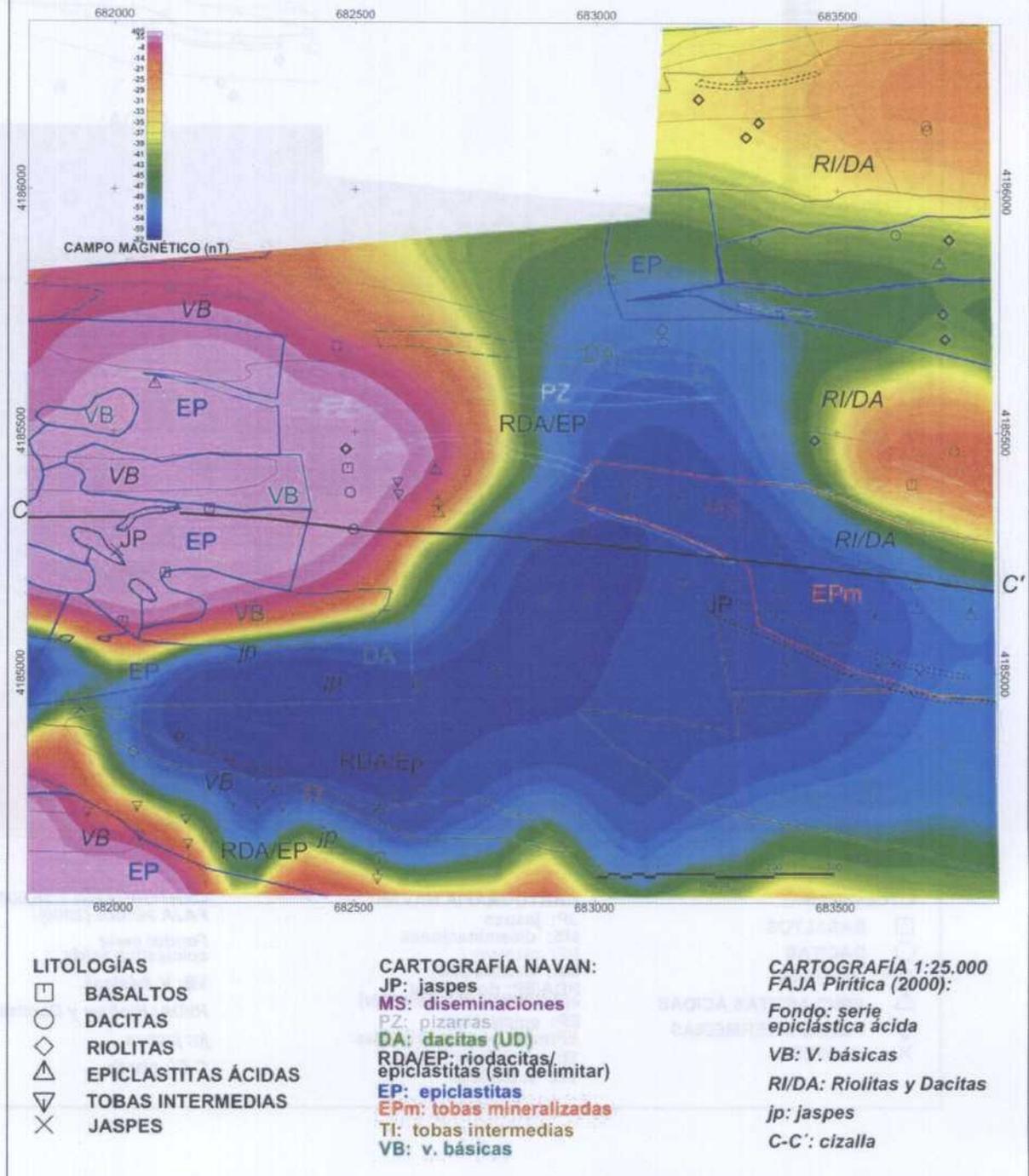
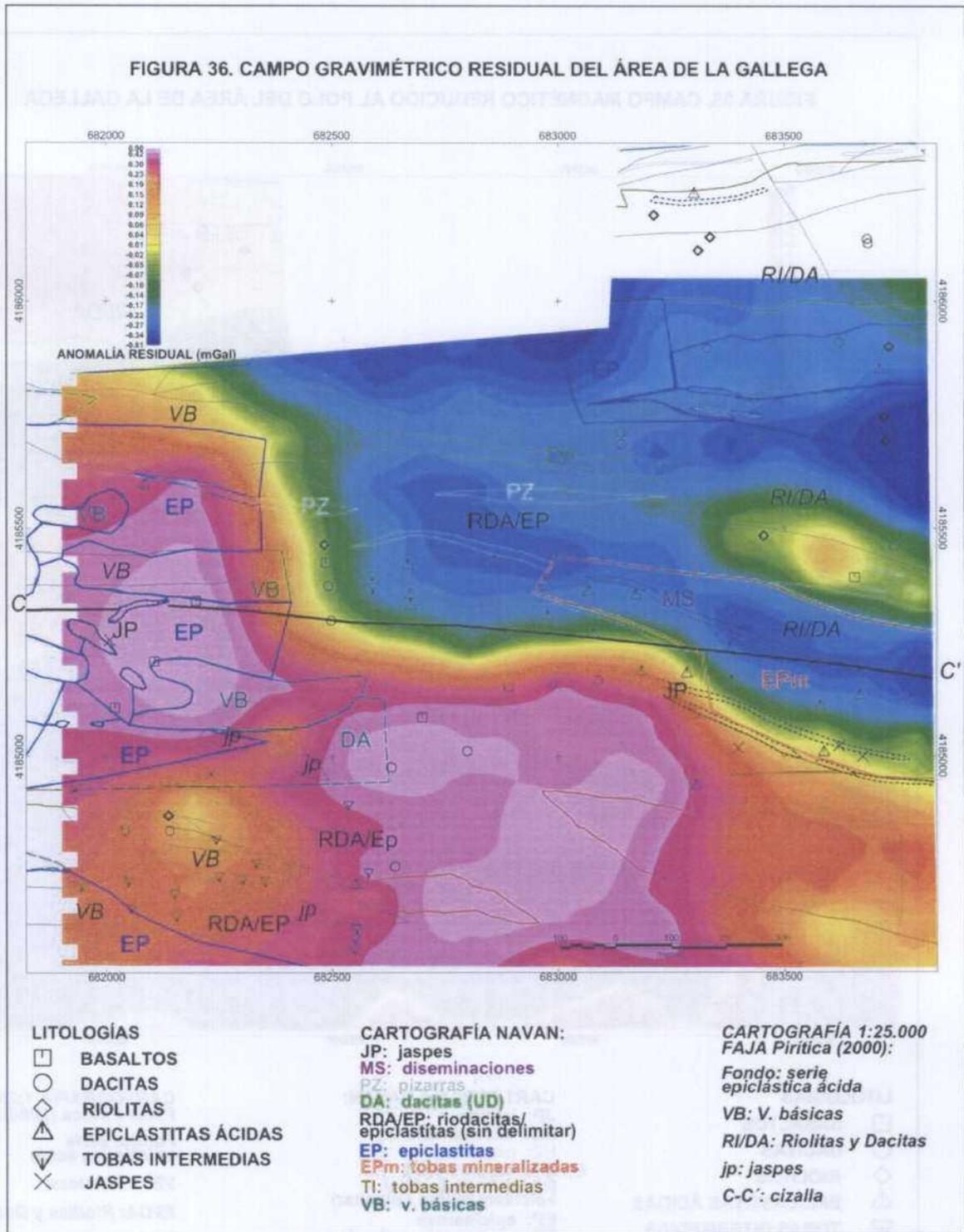


FIGURA 36. CAMPO GRAVIMÉTRICO RESIDUAL DEL ÁREA DE LA GALLEGA



En general, tanto las anomalías magnéticas como las de gravedad son fácilmente asignables a fuentes basálticas, abundantes en el área. Se trata de firmas que, por su intensidad y extensión, presentan capacidad suficiente como para enmascarar respuestas más ténues provenientes de fuentes locales. Este hecho supone claramente una limitación de la capacidad prospectiva minera de los métodos de campo potencial en la zona de La Gallega. Esta limitación, como se ha descrito en el capítulo 3 anterior, es típica de las unidades volcánicas de la hoja 937 (Concepción, Gibraltar-Panera y Riotinto).

4.2.3. RADIOMETRÍA GAMMA NATURAL

Si existen pocas novedades desde el punto de vista de la densidad aparente y la susceptibilidad magnética en la muestra de detalle respecto a la muestra regional, este no es el caso de la radiometría gamma natural en tierra. Estos datos se representan en la **figura 37**. El rasgo radiométrico fundamental es el amplísimo rango de potasio que muestran todas las litologías presentes (salvo jaspes), con marcada bimodalidad en este elemento, especialmente clara en tobas y epiclastitas intermedias y ácidas (**tabla XIV**).

LITOLOGÍA	N	Kmi	Kmx	Km	Kmd	Umi	Umx	Um	Umd	Thmi	Thmx	Thm	Thmd
BASALTOSg	6	0.3	2.5	1.1	0.3-2.5	0.7	3.2	2.1	2.1	4.2	7.9	6.5	6.3
BASALTOSr	24	0.1	2.5	0.9	0.4-2.0	0.0	2.6	0.8	0.6	0.8	8.5	4.9	6.0
DACITASg	20	0.4	7.6	2.1	1.0-2.6	0.3	3.2	1.9	1.8	3.1	11.6	7.3	3.5 - 9.5
DACITASr	46	0.6	4.4	1.6	1.4	0.1	4.7	1.5	1.4	3.9	12.2	8.0	9.0
RIOLITASg	9	0.9	6.4	3.3	2.0-6.0	0.7	4.1	1.9	1.6	5.8	15.1	9.4	12.0
RIOLITASr	44	1.4	8.1	3.6	3.3-4.9	0.0	5.3	2.3	1.7-3.1	3.5	22.9	12.1	13.0
TOBAS ÁCIDASg	25	0.9	9.9	4.2	2.5-6.0	0.3	4.1	2.2	3.1	1.8	15.9	10.5	11.5
TOBAS ÁCIDASr	49	1.3	8.0	2.8	2.1-3.1	0.9	5.6	2.4	2.2	7.7	20.8	13.3	14.0
TOBAS INTERMEDIASg	17	0.2	9.3	4.2	1.0-7.0	0.6	2.3	1.4	1.0	5.6	14.8	7.8	6.5
TOBAS INTERMEDIASr	9	0.7	2.9	1.6	1.6	0.0	2.8	1.3	1.1	6.2	10.7	8.8	9.0
JASPESg	6	0.1	2.4	0.6	0.2	0.6	2.6	1.1	0.6	0.8	12.0	2.9	0.8
JASPESr	7	0.1	1.1	0.5	0.2	0.2	2.3	0.8	0.4	0.1	10.0	3.4	4.0

Tabla XIV. Radiometría en tierra (%K, ppmU, ppmTh) de 83 muestras de la zona de La Gallega (subíndice g) frente a datos regionales (subíndice r)

N: n° de muestras con medida "in situ". Los subíndices mi, mx, m, y md referencian el mínimo, máximo, media y moda de K, U y Th respectivamente.

La bimodalidad del potasio radiométrico ya se sugería en la muestra regional (**tabla XIV**), pero es mucho más patente en los datos de La Gallega. En la **tabla XIV** las modas principales, normalmente las más bajas en todas las litologías, son similares en ambas muestras. Obsérvese que las riolitas presentan una moda inusualmente baja, próxima al 2% K.

Así pues, dentro del contexto de valores radiométricos registrado en La Gallega, existen muestras de basaltos (Kmd=2.5 %), de dacitas (Kmd=2.6 %), y de riolitas que han podido sufrir un cierto grado de potasificación, pero las ultrapotasificaciones (K>6%, **figura 37**) aparecen típicamente en rocas brechificadas y/o milonitizadas, ya sean tobas intermedias, dacitas o tobas y epiclastitas ácidas. Estas ultrapotasificaciones suelen implicar una intensa alteración hidrotermal, de modo que la roca puede clasificarse como hidrotermalita (v.g., dacita n° 1891 con 7.6% K; muestra n° 1884, hidrotermalita probablemente derivada de epiclastita, con el 9.9% K).

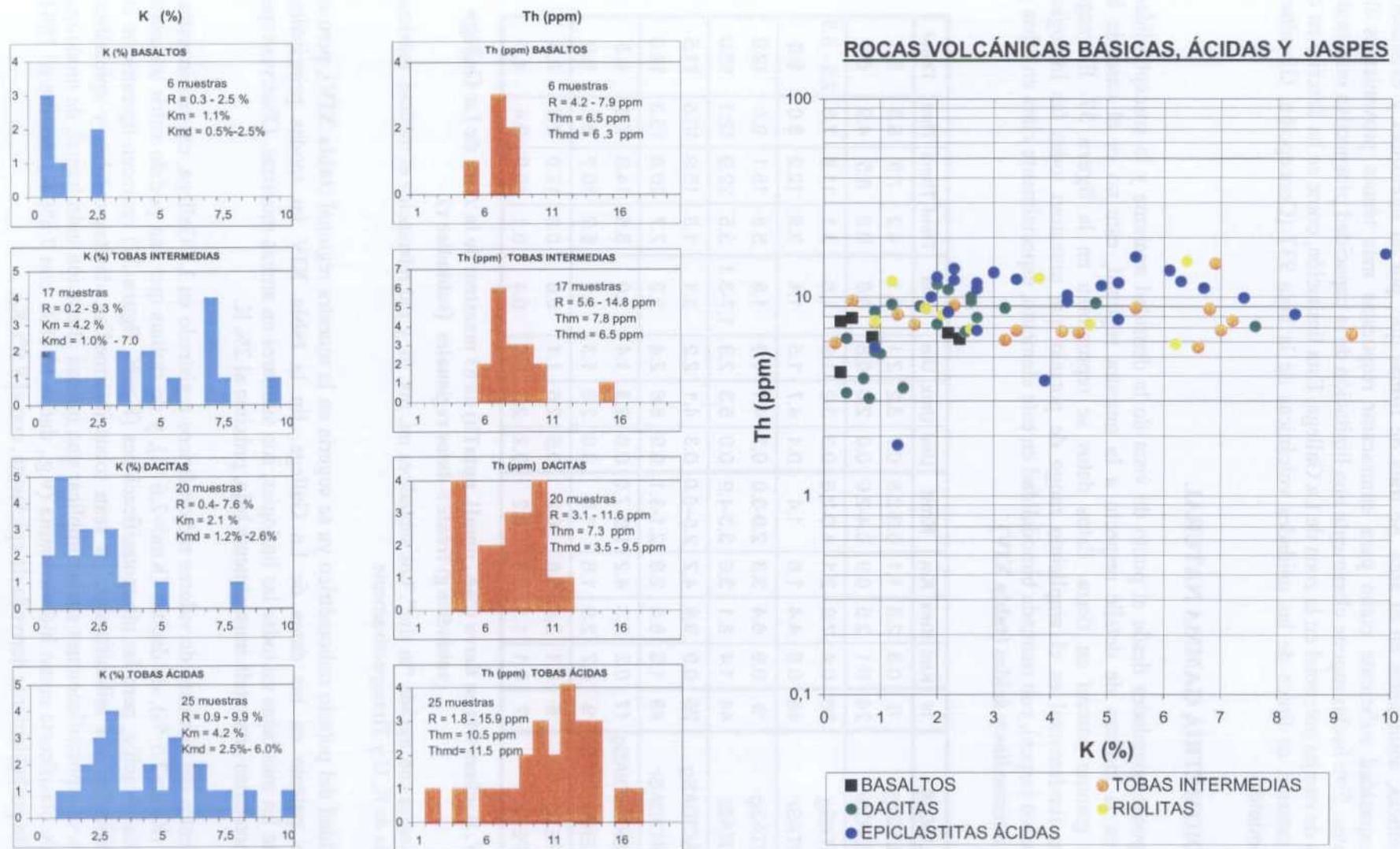


Figura 37. Histogramas de K y Th y diagrama K-Th de las rocas del área de La Gallega (83 muestras) (Espectrómetro GR-320: mediciones "in-situ")

En la **figura 38** aparecen los datos de potasio en tierra de las muestras de la **tabla XIV** sobre la imagen de potasio correspondiente al registro aéreo. Esta imagen aérea presenta una estructuración simétrica de la proporcionada por las anomalías gravimétricas residuales (**figura 36**): el sector nororiental se encuentra dominado por máximos radiométricos, es decir, por litologías ácidas, y el suroccidental, dominado por mínimos, como corresponde a litologías básicas. La imagen aérea cartografía relativamente bien la banda NE de epiclastitas ácidas y riolitas de las cartografías disponibles (tonos amarillos y superiores en la escala de color, con $\%K > 2.4$). En la banda SO los dos mínimos más importantes ($\%K < 1$) corresponden a zonas de mezcla de volcanitas básicas y epiclastitas.

Los máximos de potasio aéreos pueden interpretarse en términos de las medidas al suelo en los siguientes términos.

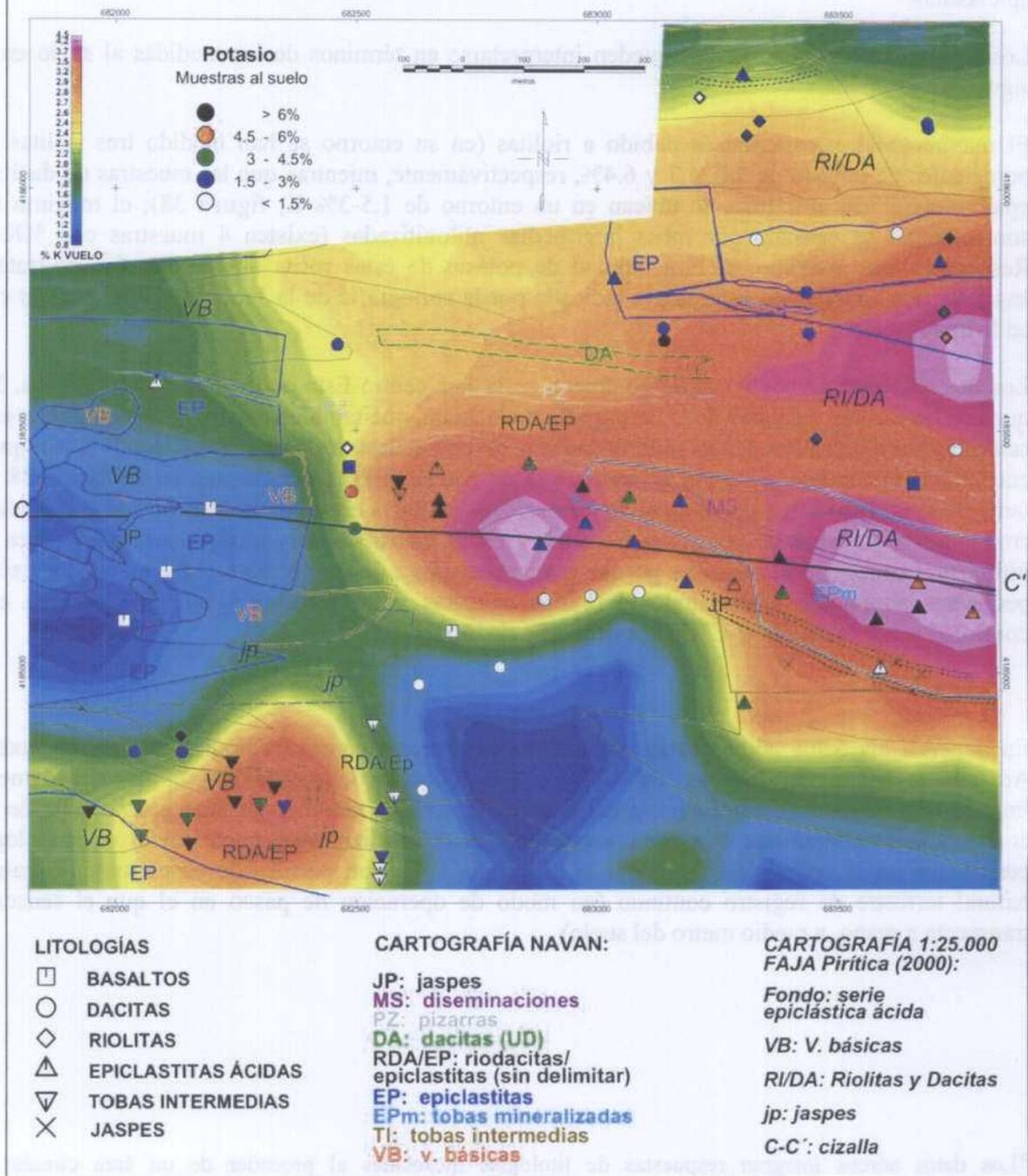
El máximo más nororiental es debido a riolitas (en su entorno se han medido tres riolitas con porcentajes de potasio de 3.8, 4.7 y 6.4%, respectivamente, mientras que las muestras de dacitas y epiclastitas ácidas próximas se ubican en un entorno de 1.5-3% K, **figura 38**); el máximo más suroccidental es causado por tobas intermedias milonitizadas (existen 4 muestras con $\%K > 6$). Respecto a este máximo, la bimodalidad de potasio de estas rocas intermedias (no se trata de basaltos, que constituyen la litología indicada por la cartografía de la Junta de Andalucía) es clara en la imagen aérea.

Los dos máximos aéreos restantes se ubican en la faja centro-Este de la zona de La Gallega. Más que por las riolitas y dacitas de la cartografía de la Junta, que también existen, estos máximos están causados por epiclastitas ácidas milonitizadas (existen 6 muestras de estas rocas con $\%K > 6$), que se encuentran mineralizadas según la cartografía de Navan (Epm). Se observa en la **figura 38** que tanto en el registro aéreo como en el de las muestras en tierra estas epiclastitas Epm son bimodales, con zonas intermedias de potasio (2.5-3%K), y zonas potasificadas y ultrapotasificadas. Estos dos últimos máximos son interesantes porque están asociados a disseminaciones (MS) en las que existen pequeñas labores de reconocimiento (varias calicatas y un pozillo) y por que parecen estar controlados por la cizalla C-C' de la cartografía de la Junta.

En general, los datos aéreos están atenuados por diversas causas geológicas e instrumentales*. Además, la separación de líneas de vuelo de 250 m con lecturas cada 100 m, aproximadamente, implica una pérdida de resolución areal cuando se trata de estudiar un área potasificada de una corrida apenas kilométrica. Por estas razones, se decidió realizar un pequeño ensayo metodológico consistente en la cartografía de la banda de cizalla C-C' con perfiles de espectrometría gamma natural terrestre de registro continuo (en modo de operación de paseo en el que el sensor se transporta a mano, a medio metro del suelo)

*Los datos aéreos integran respuestas de litologías mezcladas al proceder de un área circular de, aproximadamente, unos 100 m de diámetro (igual a la altura de vuelo), respuestas que, además, han sufrido un complejo tratamiento (corrección de efectos Compton, cósmico, atmosférico, de altura, y conversión a concentraciones)

FIGURA 38. POSICIÓN DE MUESTRAS DEL ÁREA DE LA GALLEGA:
DATOS DE POTASIO EN TIERRA SOBRE DATOS DE POTASIO AÉREO



4.2.4. PERFILES RADIOMÉTRICOS DE REGISTRO CONTINUO AL SUELO

Se ha llevado a cabo un ensayo de cartografía radiométrica al suelo consistente en la realización de una serie de perfiles N-S, de aproximadamente 1 km de longitud, separados 100 m, trazados con jalón y brújula. El registro es continuo, con acumulación de lecturas en 30 segundos entre estaciones separadas 25 m. La situación de los perfiles (veinte en total) se aprecia en la **figura 39**.

La imagen de potasio al suelo presenta, como era de esperar, la misma estructuración que la de las anomalías de potasio aéreo (**figuras 38-39**): el sector nororiental se encuentra dominado por máximos, y el suroccidental, dominado por mínimos.

La diferencia fundamental del registro continuo al suelo respecto a la imagen aérea es que en el registro terrestre las anomalías aparecen mucho mejor resueltas tanto desde el punto de vista de su intensidad como de su geometría y estructura. La pérdida de rango de los datos aéreos (0.9 - 4.5% K, aproximadamente) respecto a los del suelo (0.1 - 6% K, aproximadamente) es causada principalmente por un elevado nivel de mezcla litológico en el radio de captura de la señal aérea según la altura de vuelo, como se ha mencionado más arriba. La pérdida de resolución geométrica se debe a la distinta densidad del muestreo (100x250 m al aire, 25x100 m al suelo). Adicionalmente, las anomalías aéreas aparecen desplazadas una cincuenta de metros hacia el Este, lo que puede indicar un ligero problema de georreferencia.

En términos generales, igual que la imagen de los datos aeroportados, la imagen de potasio al suelo cartografía relativamente bien la banda NE de epiclastitas ácidas y riolitas de las cartografías disponibles (tonos amarillos y superiores en la escala de color, con %K>1.5; compárense ambas escalas de color, al suelo y al aire), así como los dos mínimos de la banda SO (%K<0.7) causados por mezclas de volcanitas básicas, jaspes y epiclastitas ácidas. La mejor resolución geométrica de las anomalías al suelo permite establecer precisiones adicionales sobre el origen de las anomalías de potasio.

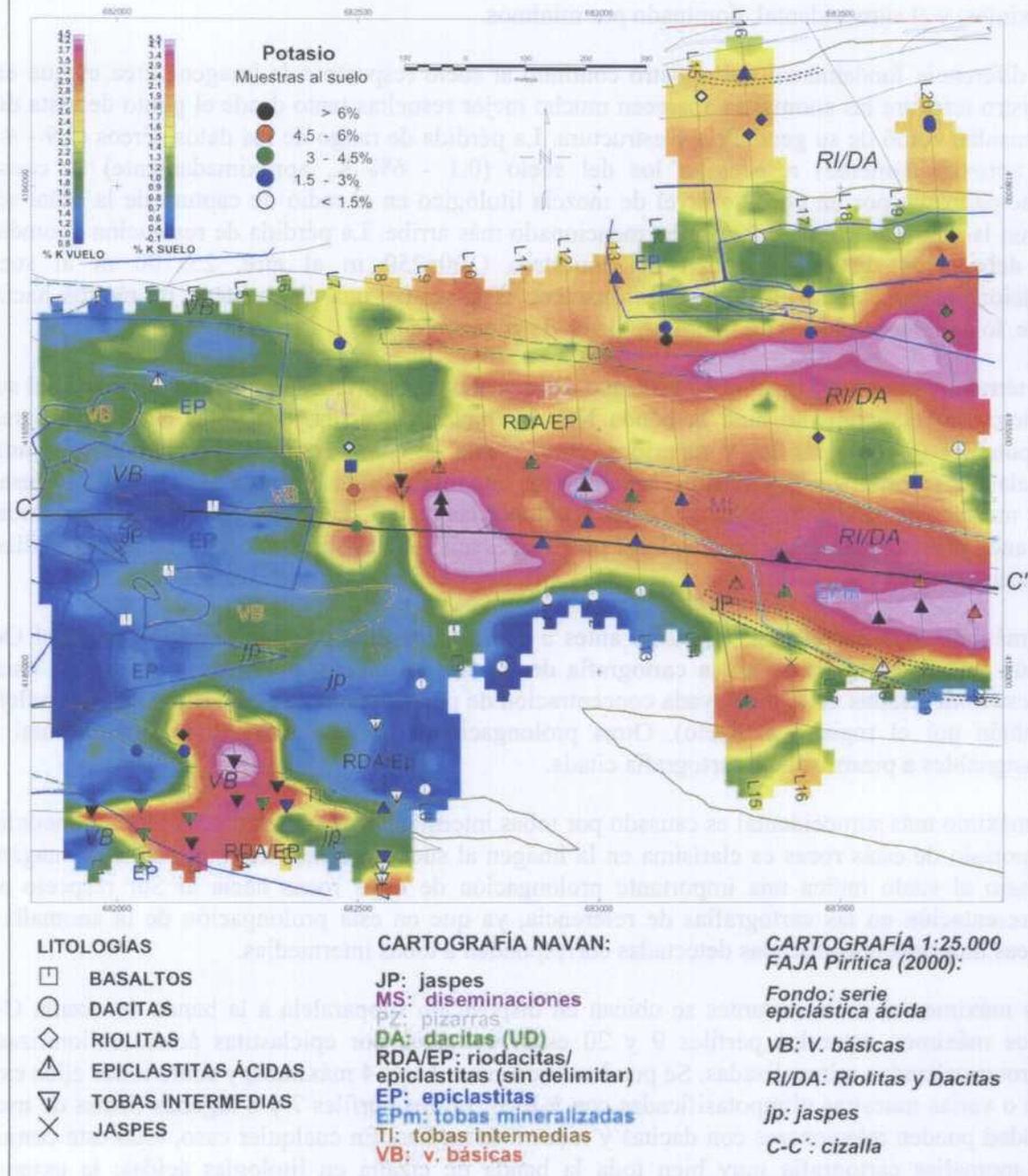
El máximo más nororiental, atribuido antes a riolitas, presenta una prolongación hacia el Oeste según una faja de dacitas de la cartografía de Navan; en efecto, próximas a dicha faja existen muestras de dacitas tanto de elevada concentración de potasio, como de baja (bimodalidad reflejada también por el registro al suelo). Otras prolongaciones de este máximo más nororiental son consignables a pizarras de la cartografía citada.

El máximo más suroccidental es causado por tobas intermedias milonitizadas. Aquí, la bimodalidad de potasio de estas rocas es clarísima en la imagen al suelo. Además de este factor, la imagen de potasio al suelo indica una importante prolongación de estas rocas hacia al Sur respecto a su representación en las cartografías de referencia, ya que en esta prolongación de la anomalía las únicas muestras potasificadas detectadas corresponden a tobas intermedias.

Los máximos al suelo restantes se ubican en disposición subparalela a la banda de cizalla C-C'. Estos máximos entre los perfiles 9 y 20 están causados por epiclastitas ácidas milonitizadas-hidrotermalizadas-mineralizadas. Se pueden discriminar hasta 4 máximos, y sobre todos ellos existe una o varias muestras ultrapotasificadas con %K>6. En los perfiles 7 y 8 algunas firmas de menor entidad pueden relacionarse con dacitas y tobas intermedias. En cualquier caso, todo este conjunto de anomalías cartografía muy bien toda la banda de cizalla en litologías ácidas; la extensión potasificada-ultrapotasificada puede estimarse en unos 100-125 m a ambos lados de la línea que la representa en la cartografía de la Junta.

Como se ha indicado, el interés de todas estas potasificaciones reside en que están asociadas a disseminaciones (MS) en las que existen pequeñas labores de reconocimiento (varias calicatas y un pozillo), y en que parecen estar controladas por la cizalla C-C' de la cartografía de la Junta.

FIGURA 39. POSICIÓN DE MUESTRAS DEL ÁREA DE LA GALLEGA: DATOS DE POTASIO EN TIERRA SOBRE IMAGEN DE POTASIO EN LÍNEAS "DE PASEO"



5.2. RESULTADOS PETROFÍSICOS A NIVEL REGIONAL Y LOCAL

El muestreo ha comprendido una parte regional con 632 rocas y otra de detalle con 83, procedentes de la zona de La Gallega, hasta un total de 715 muestras. Se han realizado 715 determinaciones de densidad-susceptibilidad, 185 de magnetización remanente en roca no orientada, y 466 de radiometría gamma natural, expresada como contenidos de los radioelementos naturales K, U y Th.

A) DENSIDAD Y SUSCEPTIBILIDAD (tabla XV)

1) Las rocas volcánicas básicas son las principales responsables de las anomalías de campo potencial en el Dominio Noroccidental de la Faja Pirítica Española. La media de densidad aparente de las andesitas es de 2.78 g/cm^3 , la de los basaltos de 2.82 g/cm^3 , y la de las diabasas de 2.87 g/cm^3 . Se trata por tanto de rocas de densidad intermedia-alta, capaz de producir anomalías gravíficas si los volúmenes implicados no son pequeños. En el mapa regional de Anomalías de Bouguer estas rocas tienden a situarse a veces en zonas de gradiente, pero sobre todo abarcan anomalías gravimétricas regionales, debidas a la Fm. Andesítica, dentro de las cuales existen máximos importantes, debidos a los sills basálticos o de diabasas.

En cuanto a los resultados de susceptibilidad, las andesitas son rocas claramente paramagnéticas (tabla XV) que no deben producir anomalías magnéticas apreciables. En cambio, la mayoría de los basaltos son ferromagnéticos con susceptibilidad entre las 1000 y $6000 \cdot 10^{-6}$ ucgs, aunque existe en ellos una moda paramagnética. Las modas ferromagnéticas más importantes parecen próximas a 1300 y $3200 \cdot 10^{-6}$ ucgs, correspondientes, respectivamente, a un 0.5 y 1.3% modales de Fe_3O_4 . En las diabasas, aunque las muestras paramagnéticas son mayoritarias, las susceptibilidades exhiben un rango y unas modas similares a las de los basaltos. Las diabasas, más pesadas que los basaltos, y casi tan ampliamente distribuidas como ellos, deben ser responsables de buena parte de las anomalías de los mapas de Bouguer y magnético del Dominio Noroccidental de la Faja Pirítica.

LITOLOGÍAS	k_{md}	d_{md}	K_{md}	U_{md}	Th_{md}	Q_{mn}
Andesitas	45	2.81	0.6	0.6-1.4	6.0	0.13
Basaltos	70-1300-3200	2.89	0.4-2.0	0.6	6.0	0.41
Diabasas	60-1200	2.95	0.6	0.0-0.8	3.5	0.24
Dacitas	30	2.73	1.0-1.4-2.6	1.3	7.0-9.0	0.22
Riolitas	40-1100	2.59	2.0-3.3-4.9-6.5	1.7-3.1	13.0	1.25
Tobas Ácidas	20	2.55	2.1-3.1-6.5	2.2	14.0	0.26
Tobas Intermedias	30-400	2.71	1.0-1.6-7	1.1	9.0	-
Jaspes	100-1500-5600	2.80	0.2	0.4	1.0-4.0	3.23
Cuarcitas	37	2.59	-	-	-	-
Areniscas	27	2.60	0.8	-	10.0	-
Grauvacas	19	2.53	2.6	2.6	12.0-16.5	0.32
Pizarras	28	2.37-2.55	3.2	3.1	16.5	0.08
Esquistos	27	2.53	3.5	3.3	17.0-21.0	0.39

Tabla XV. Modas de susceptibilidad magnética k (ucgs $\cdot 10^6$), densidad aparente d (g/cm^3), y contenido radiométrico de K (%), U (ppm) and Th (ppm). Q_{mn} : parámetro Koenigsberger (mediana).

2) Las rocas volcánicas ácidas son, en general, ligeras y paramagnéticas. Las medias y modas de densidad son: 2.73 g/cm^3 (ambas) en dacitas, 2.61 g/cm^3 y 2.59 g/cm^3 en riolitas, y 2.55 g/cm^3 (ambas) en tobas ácidas. Dacitas y tobas son mayoritarias en el conjunto volcánico ácido.

3) De acuerdo con la estrategia de toma de muestras, el nivel de muestreo de cada formación metasedimentaria o unidad ígnea estudiada depende de su respuesta geofísica "anómala", hasta que las modas petrofísicas más externas (altas y bajas) queden caracterizadas.

4) En campo se recoge una cantidad de muestra suficiente para alimentar toda la analítica de petrofísica, ajustada a normas establecidas y procedimientos aceptados. Se debe procurar obtener roca lo más fresca posible (en canteras y afloramientos de roca viva). Las medidas radiométricas "in-situ" se realizan preferentemente en frentes lisos y de geometría horizontal (geometría 2π), según los requerimientos para que la determinación con el espectrómetro de radiación gamma natural de mano tenga un valor geoquímico, aunque lógicamente esto no es siempre posible.

5) Para el análisis de los resultados del estudio petrofísico se recurre repetidamente al uso de diagramas bivariantes, que proporcionan una visión inmediata de los campos de variación globales y las agrupaciones (modas) de los datos de que se trate, facilitan el diagnóstico litológico, y tienden a caracterizar de forma precisa las tendencias petrofísicas existentes, y los procesos subyacentes a ellas (v.g., de exolución/oxidación o evolución geoquímica en los grupos rocosos analizados).

El análisis modal es particularmente importante para el estudio de las anomalías magnéticas y radiométricas. La interpretación de los resultados de un parámetro típicamente polimodal como la susceptibilidad requiere de la adopción de los límites del paramagnetismo y distintos umbrales de ferromagnetismo a los que referir los estadísticos generales. El uso de cuatro rangos para caracterizar, respectivamente, las fracciones paramagnética ($k_{mp} < 250 \cdot 10^{-6}$ ucgs, $\% \text{Fe}_3\text{O}_4 < 0.1$), débilmente ferromagnética ($250 < k_{mf1} < 750 \cdot 10^{-6}$ ucgs, $0.1 < \% \text{Fe}_3\text{O}_4 < 0.3$), moderadamente ferromagnética ($750 < k_{mf2} < 2500 \cdot 10^{-6}$ ucgs, $0.3 < \% \text{Fe}_3\text{O}_4 < 1$), y ferromagnética ($k_{mf3} > 2500 \cdot 10^{-6}$ ucgs, $1 < \% \text{Fe}_3\text{O}_4 < 3$), de cada unidad muestreada, se justifica porque se trata de niveles que corresponden, a grandes rasgos, a los necesarios para producir anomalías de varias nT, pocas decenas de nT, muchas decenas de nT, y varios centenares de nT, que corresponde a la intensidad de las anomalías existentes en los mapas aeromagnéticos de la región estudiada. Para las densidades se han utilizado 4 rangos atendiendo a las características litológicas presentes: inferior a 2.60 g/cm^3 , para rocas ligeras; entre 2.60 - 2.75 g/cm^3 para rocas de densidad intermedia; y entre 2.75 - 2.90 g/cm^3 y superior a 2.90 g/cm^3 para rocas densas y muy densas, respectivamente.

6) Un aspecto metodológico importante de este trabajo ha consistido en la determinación del conjunto de propiedades físicas de las rocas más relevante para la interpretación de campañas gravimétricas terrestres y magneto-radiométricas aéreas, en tanto que determinantes de la respuesta geofísica de los macizos rocosos frente a los métodos usados. Es muy infrecuente la determinación e interpretación conjunta de todos estos parámetros debido a las dificultades y costes que presenta una campaña de un muestreo tan intensivo. De ello se derivan importantes sinergias, no sólo para la interpretación geológica simultánea de las campañas de geofísica, sino también para los estudios de petrología y de geoquímica. Además, una parte de estos parámetros petrofísicos puede ser registrada en campo de manera rápida y económica, lo que hace su adquisición muy recomendable.

7) Dado que en general se han caracterizado las modas (o rangos) petrofísicas de nivel suficiente como para justificar el espectro anómalo observado, puede concluirse que la muestra es adecuada para el estudio de las anomalías gravimétricas y aeroportadas en el Dominio Noroccidental de la Faja Pirítica. Debe señalarse la calidad del registro petrofísico, tanto de los datos referentes a volcanitas como a rocas metasedimentarias, de manera que la base de datos correspondiente constituye una referencia obligada de cualquier estudio geofísico de estas rocas mediante radiometría gamma natural y campos potenciales (por ejemplo, la modelización bi y tridimensional magnética y gravimétrica). Por todo ello, este estudio se configura como un trabajo de Infraestructura de Conocimiento, de manera que los aspectos interpretativos ilustran la utilidad de los datos de petrofísica y de los procesos de tratamiento empleados.

5. RESUMEN Y CONCLUSIONES

Este trabajo se ha centrado *la optimización de la interpretación geológica* de campañas de geofísica aeroportada de alta resolución, magnéticas y radiométricas, y de gravimetría terrestre, tanto a escala regional como de detalle, en el Dominio Noroccidental de la Faja Pirítica Española, y en la utilización de dicha interpretación como apoyo a la investigación minera en dicho Dominio dentro del marco del Proyecto “Exploración regional en la Faja Pirítica 2001-2004: aplicación del análisis neuronal de datos multidisciplinares a la delimitación de zonas anómalas”.

La optimización de la interpretación se ha obtenido mediante el uso intensivo de determinaciones de las propiedades físicas de las rocas que con sus contrastes naturales producen las anomalías registradas por los sensores magnéticos, radiométricos, y gravimétricos. Estas propiedades físicas son el peso específico y la susceptibilidad magnética aparente de la roca, su magnetización remanente natural, y su emisión radiométrica gamma natural, expresada como contenidos de los radioelementos naturales K, U y Th. Estos parámetros han suministrado una base firme para el análisis de la expresión geofísica de los contextos a los que se asocian determinados tipos de recursos minerales en la zona de estudio.

El trabajo ha abarcado tanto aspectos metodológicos como de interpretación, relativos al ámbito petrofísico, al tratamiento y análisis integrado de las imágenes radiométricas y de campo potencial, y a la construcción de cartografías geofísicas con criterios y guías de prospectividad minera, por lo que las conclusiones se van a agrupar siguiendo cada uno de estos aspectos.

5.1. METODOLOGÍA DEL MUESTREO Y ANÁLISIS PETROFÍSICO GENERAL

1) Una cartografía geológica de partida a escala adecuada (1/25.000 procedente de la Junta de Andalucía en el caso de este estudio, dada la densidad de datos geofísicos a interpretar en un área que involucra algo más que una hoja 1:50.000) resulta imprescindible para investigaciones como las que se abordan en este trabajo. Dicha cartografía constituye uno de los documentos más importantes a estudiar, ya que se trata del punto de partida de las interpretaciones geofísicas y petrofísicas.

2) La selección de itinerarios de muestreo se ha realizado considerando la respuesta gravimétrica, magnética y radiométrica “anómala” de cada unidad geológica de la síntesis. Esta tarea es necesaria no sólo para la definición de los recorridos de toma de muestras en campo, sino también para el análisis de los datos de petrofísica que se vayan obteniendo, ya que es necesario ir verificando la magnitud de los parámetros petrofísicos registrados frente a la intensidad de las anomalías en los mapas geofísicos, lo que sirve para controlar la calidad del muestreo y/o la necesidad de tomar muestras adicionales. Para caracterizar adecuadamente la zona de estudio, la densidad de recogida de datos en la muestra regional ha sido de una muestra por km². Asimismo, para caracterizar adecuadamente desde el punto de vista petrofísico un entorno minero, se ha realizado un muestreo de alta densidad en una zona seleccionada (de unos 2 km²; área de La Gallega) de la unidad litoestructural con el mayor número de indicios y minas del Dominio Noroccidental de la Faja Pirítica Española (Unidad de Concepción). El sector de La Gallega es bastante anómalo, tanto desde el punto de vista del registro de campos potenciales, como del de radiación gamma natural. La densidad de recogida de datos en la muestra local ha sido unas 50 veces mayor que en la muestra regional.

Se trata por tanto de un muestreo dirigido, simultáneamente por la cartografía geológica y por el análisis de las anomalías geofísicas que se trata de interpretar. El muestreo se ve facilitado por instrumentos auxiliares de medida en campo, como un medidor portátil de susceptibilidad. Se ha establecido una nomenclatura de formaciones y tipos de rocas en concordancia con la cartografía geológica de partida, que permita la clasificación e interpretación de los resultados petrofísicos.

Por tanto, al menos por lo que respecta al potasio, el registro al suelo en modo de operación de paseo respecto al aéreo supone:

- Una mejor recuperación de los rangos y contenidos verdaderos de este elemento en las rocas estudiadas. Este aspecto es fundamental para la detección de ultrapotasificaciones, al menos en el caso del área de la Gallega, donde el registro aéreo es incapaz de diferenciarlas.
- Una definición geométrica general superior, y por tanto una mayor capacidad resolutive de cualquier aspecto cartográfico de detalle
- En consecuencia, una representación más fiel de zonas potasificadas-ultrapotasificadas, de modo que si estas zonas están relacionadas con bandas de cizalla, se obtiene una delimitación muy neta de la extensión de las potasificaciones en el entorno de tales bandas

Aunque la calidad del registro aéreo queda plasmada por el hecho de que los rasgos esenciales del parámetro en cuestión (potasio, en este caso), están también reflejados en los datos al aire de la zona de La Gallega (lo que es muy verosímilmente extrapolable, en general, en el caso de anomalías de al menos un tamaño superior al hectómetro), del trabajo realizado en tierra se deducen dos conclusiones fundamentales:

1) La interpretación geológico-minera de los datos aéreos requiere de medidas puntuales en tierra, imprescindibles para discernir el origen de las anomalías.

Obsérvese que la bimodalidad de las rocas, demostrada en este trabajo, constituye una fuerte limitación para la interpretación cualitativa tradicional de las imágenes aéreas basada en la comparación de tales imágenes con los mapas geológicos disponibles. El trabajo al suelo permite subsanar interpretaciones litológicas erróneas que se hayan podido trasladar a tales mapas.

2) El registro de espectrometría terrestre en modo continuo se justifica

a) En primer lugar, cuando la fidelidad de la determinación cuantitativa de la intensidad de las anomalías radiométricas pueda ser un factor fundamental en la valoración de la potencialidad prospectiva de las mismas (caso de las anomalías en bandas de cizalla en la zona de La Gallega: tanto o más que la existencia de los contrastes anómalos importan los valores absolutos de las anomalías),

b) En segundo lugar, si se quieren abordar aspectos como la resolución de geometrías de detalle, o la definición precisa de la estructura fina en cuanto a relaciones, extensiones y límites involucrados en anomalías de posible interés minero, como es el caso de las anomalías en bandas de cizalla en la zona de La Gallega.

Las dacitas son rocas de características petrofísicas similares a las de las andesitas (los datos apuntan a una moda superior a 2.80 g/cm^3 , de tendencia andesítica). Son rocas totalmente paramagnéticas con una media $kmp=36 \cdot 10^{-6}$ ucgs. En el mapa de campo magnético reducido al polo la Fm. Andesítico-Dacítica se observan algunas anomalías importantes (debidas a diabasas y basaltos) pero que no permiten una cartografía magnética precisa de esta formación.

Las riolitas y las tobas son rocas casi paramagnéticas (**tabla XV**), con una ligera tendencia a una bimodalidad de susceptibilidad de baja intensidad. Existe una facies oscura, riolitas negras, algo ferromagnética (moda próxima a $1000 \cdot 10^{-6}$ ucgs, lo que representa el 0.4% de Fe_3O_4). Por tanto, se trata de rocas que no producen anomalías magnéticas, salvo las riolitas negras en afloramientos masivos. En las tobas existen 4 datos muy ligeramente ferromagnéticos, con $kmf1=414 \cdot 10^{-6}$ ucgs, correspondiente a contenidos de un 0.2% de Fe_3O_4 . En el mapa regional de campo reducido al polo las tobas se encuentran usualmente en zonas de muy bajo relieve magnético.

3) Las rocas metasedimentarias, como las rocas volcánicas ácidas, son, en general, ligeras y paramagnéticas, con modas de densidad comprendidas entre 2.37 y 2.60 g/cm^3 y de susceptibilidad entre 19 y $37 \cdot 10^{-6}$ ucgs (**tabla XV**). Igual que las volcanitas ácidas, se asocian a anomalías gravílicas negativas y no producen anomalías magnéticas. En las pizarras existen modas algo elevadas, incluso del orden de 2.70 g/cm^3 ; este tipo de modas es el que causa tantos problemas en prospección gravimétrica minera en todo el contexto de la Faja Pirítica. Los jaspes son pesados y ferromagnéticos y se asocian a anomalías de pequeña longitud de onda en el mapa magnético.

*4) En conclusión, las rocas muestreadas presentan una amplia gama de densidades entre las correspondientes a términos volcánicos básicos por un lado, y a ácidos y rocas metasedimentarias por otro. La polimodalidad magnética clara en los grupos más básicos y en los jaspes (**figura 40**). Las rocas intermedias y, sobre todo, los sills basálticos y las diabasas son los causantes de las anomalías positivas de gravedad de la región estudiada.*

Además de en las rocas metasedimentarias, las susceptibilidades magnéticas son bajas en La Fm. Andesítico-dacítica, en las tobas ácidas y epiclastitas andesíticas, y en la mayor parte de las riolitas (salvo en las facies oscura), y elevadas en espilitas (basaltos espilitizados), diabasas y jaspes. Estas susceptibilidades explican, por el orden citado, las anomalías magnéticas de intensidades moderadas-altas y bastante consistentes con la cartografía magnética de estas rocas en las formaciones/unidades que las albergan. En conjunto, las volcanitas básicas más pesadas son claramente ferromagnéticas y responsables de las anomalías magnéticas más acusadas.

B) ESPECTROMETRÍA REGIONAL

1) Las rocas básicas son poco radiactivas. En general, puede decirse que los valores modales de K-Th-U son los normales para este tipo de rocas (**tabla XV**).

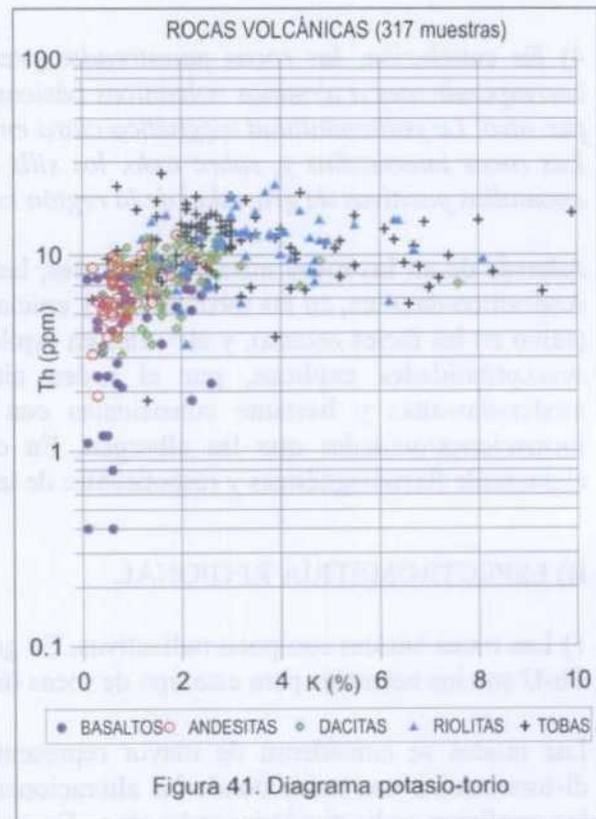
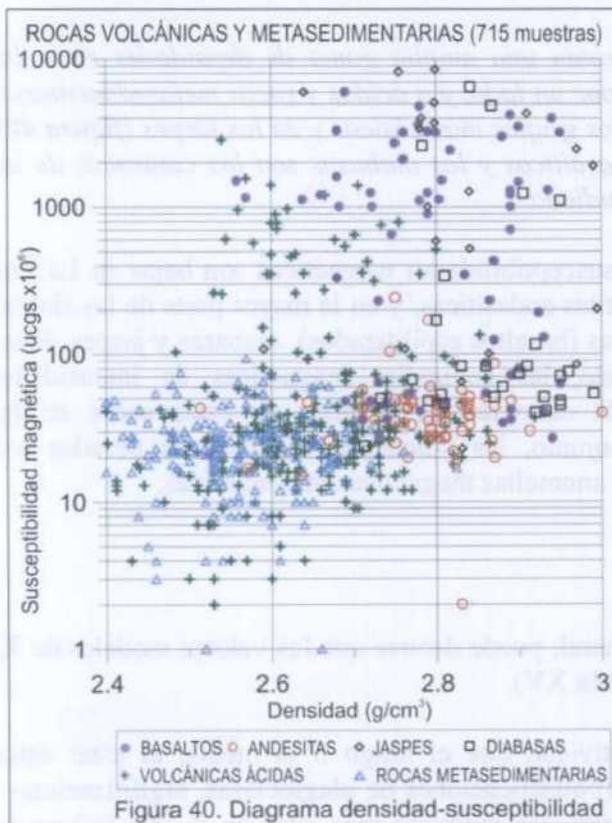
Las modas se consideran de mayor representatividad que el rango o la media, al estar éstos distorsionados con casos donde las alteraciones (potasificaciones de plagioclasas, argilitizaciones) les confieren radiactividades más altas. En general, las muestras más altas en K ($K > 2\%$) no se asocian a bandas de cizalla. En el diagrama K-Th los casos de rocas alteradas corresponden a datos con $K > 1.5\%$ ó $\text{Th} > 8 \text{ ppm}$; en el espacio U-Th serían datos con $U > 1.5 \text{ ppm}$ ó $\text{Th} > 8 \text{ ppm}$. En ninguno de estos diagramas se observan tendencias radiométricas claras ni es posible establecer relaciones radiométricas entre las litología básicas; el rasgo más destacable es la gran superposición de contenidos de radioelementos de todas las litologías básicas, lo que las hace indiscernibles en los mapas aéreos (**figura 41**). En el caso de las diabasas, los menores contenidos de tierras raras

pesadas indican estadios menos evolucionados; asimismo la similar evolución del ratio K/Th en diabasas y basaltos sugiere la consanguineidad de estas rocas.

En el mapa radiométrico ternario las rocas básicas mencionadas (andesitas, basaltos y diabasas) muestran tonos no saturados de baja intensidad. En ocasiones, se evidencian tonos potásicos de intensidad débil, en lugar de las áreas blancas de radiación mínima típicas de rocas básicas frescas, lo que delata que no se trata de tales. Estos tonos podrían servir para la diferenciación radiométrica local de zonas alteradas, que podrían tener algún interés prospectivo, sobre todo si se alinean a lo largo de ejes en los que ocurran indicios, zonas gossanizadas, anomalías de campo potencial, etc.

2) Las rocas volcánicas ácidas presentan un amplio rango de radiactividades, con tendencias a la bimodalidad de contenidos (**tabla XV**).

Las medias y los valores modales de K-U-Th en las dacitas son ligeramente bajos; deberían haberse registrado estadísticos algo más altos, v.g., más próximos al 2% en el caso del potasio. En el mapa radiométrico ternario aeroportado las dacitas no destacan por su radiactividad, de modo que son prácticamente casi inseparables de las andesitas (y éstas, a su vez son de difícil diferenciación respecto a los basaltos). Ya se ha indicado que la formación Andesítico-Dacítica muestra tonos no saturados de baja intensidad, ligeramente más elevados que los de los basaltos; en ciertos casos los tonos potásicos, de tendencia dacítica, que sustituirían a las áreas blancas típicas de rocas basálticas, delatan que no se trata de tales.



Las dos características principales de las riolitas son su gran variabilidad radiométrica, con claras tendencias polimodales, y su mayor radiactividad respecto al resto de volcanitas estudiadas. En la muestra regional existen tres datos de riolitas muy elevados en potasio ($K > 6\%$) ubicados en las proximidades de bandas de cizalla; estas potasificaciones (ya sea en esta u otra litología ácida, como en las tobas donde se han detectado 2 casos, también asociados a bandas de cizalla) pueden

constituir una guía de investigación minera. En la **figura 41** las potasificaciones son más abundantes porque se incluyen las medidas de La Gallega, donde estos casos son numerosos. En el espacio K-Th, las riolitas con $K < 4\%$, junto con las dacitas típicas ($1.3 < \%K < 2.8$), y las tobas ácidas podrían formar una tendencia común que manifestaría su relación genética. En el espacio U-Th las litologías están muy mezcladas. Los contenidos en tierras raras radiactivas de las riolitas son intermedio-bajos, de modo que las tobas ácidas tienden a ser más ricas en ellas (sobre todo en Th) que las riolitas, aunque sean algo menos potásicas que éstas. Las tobas intermedias son de radiactividad similar a la de las dacitas.

Dentro del contexto C.V.S., en el mapa radiométrico ternario las riolitas vendrán caracterizadas, más que por saturaciones en los tres elementos, por puntos altos (spots) de potasio. En el mapa ternario las riolitas raramente mostrarán radiactividades intermedio-bajas, que serán frecuentes sobre las dacitas (promedios de K-U-Th de 1.6-1.5-8.0 en dacitas frente a 3.6-2.3-12.1 en riolitas). Debe mencionarse el bajo contenido de potasio de las tobas ácidas, inferior al de las riolitas en un 0.9% de promedio (2.7 frente al 3.6%), no atribuible a problemas de muestreo. Los contenidos de U y Th (ambos algo superiores a los de las riolitas) son más normales para este tipo de rocas. Aunque la radiactividad de las tobas ácidas, según los datos en tierra, es superior a la de las dacitas y próxima a la de las riolitas, en la imagen ternaria existen amplias zonas cartografiadas como epiclástitas ácidas de radiación moderada-baja que apenas si muestran algunos “spots” radiactivos mencionables (v.g., en la Unidad de Concepción).

3) Las rocas metasedimentarias, como las rocas volcánicas ácidas, presentan un amplio rango de radiactividades, que son crecientes de areniscas a esquistos, pasando por grauvacas y pizarras. Los histogramas radiactivos de las grauvacas sugieren una tendencia a la bimodalidad, a la división en dos grupos, uno de radiactividad intermedia, similar a la de las areniscas ss, y otro bastante más radiactivo, sobre todo en términos de K- Th, similar a las pizarras. Esta división en dos grupos queda confirmada por las respuestas contenidas en el mapa radiométrico ternario aeroportado procedentes de grauvacas de diversas zonas. Pizarras y esquistos son las rocas más radiactivas del Dominio Noroccidental de la Faja Pirítica, presentando contrastes bien marcados en los mapas aéreos con las rocas volcánicas de su entorno.

4) *Por tanto, las rocas muestreadas revelan también una amplia gama de radiactividades entre las correspondientes a volcánicas, básicas, intermedias y ácidas, y rocas metasedimentarias. Las dos características principales son la polimodalidad de contenidos con valores extremos destacables, sobre todo en términos ácidos, y la superposición de rangos radiactivos, lo que no facilita la interpretación aeroradiométrica, haciendo imprescindible las medidas al suelo.*

En efecto, puede afirmarse que los datos de radiometría gamma natural “in situ”, a la vez que implican complejidades interpretativas, son muy interesantes, especialmente por lo que se refiere a valores extremos (v.g., potasificaciones). Son complejos por que indican una gran superposición de contenidos radiactivos entre litologías diferentes, con importantes solapamientos entre rocas básicas e intermedias (e incluso ácidas), lo que no favorece su separación radiométrica, y por tanto su cartografía aeroportada. De ello existen numerosos ejemplos en los mapas regionales. Otro aspecto a tener en cuenta es la baja radiactividad general de las dacitas, así como la procedente del potasio de las tobas ácidas, lo que puede ser una característica regional del Dominio Noroccidental de la Faja Pirítica. Si a esto añadimos la abundancia de rocas básicas, el resultado es un mapa ternario con tonos de baja radiación generales sobre todas las volcanitas del C.V.S; sobre este fondo de mínimos destacan especialmente los “spots” potásicos. Precisamente las potasificaciones afectan a la mayoría de las litologías muestreadas. Así, existen agrupaciones de rocas potasificadas (vg., sericitizadas) en basaltos y diabasas, claramente manifestadas en diagramas K-Th. Las potasificaciones son más espectaculares en riolitas y tobas ácidas, asociadas con frecuencia a

bandas de cizalla. También son destacables algunos valores altos de uranio en dacitas, riolitas y tobas ácidas, y de torio en riolitas y tobas ácidas.

C) RESULTADOS PETROFÍSICOS A NIVEL LOCAL (ZONA DE LA GALLEGA)

1) Desde el punto de la densidad aparente y la susceptibilidad magnética, en el área de La Gallega encontramos pautas muy parecidas a las observadas en la muestra regional: las rocas ácidas e intermedias tienden a ser paramagnéticas (sólo con modas débilmente ferromagnéticas), mientras que los basaltos y jaspes deberían ser los responsables de las anomalías magnéticas presentes, si bien las susceptibilidades registradas de estas dos litologías son ligeramente inferiores a los valores obtenidos en la muestra regional. Los sills básicos causarían las anomalías de gravedad de la zona estudiada.

Las anomalías magnéticas del área de La Gallega superan los 100 nT, encontrándose entre las más intensas en el contexto de la Faja Pirítica. En general, la longitud de onda de las anomalías sobrepasa ampliamente el kilómetro, de modo que se pueden excluir los jaspes como causantes de las mismas. Las anomalías más importantes pueden asociarse con facilidad con los afloramientos de sills básicos de las cartografías disponibles [v.g., la anomalía principal, de unos 150 nT, podría ser causada por una placa subaflorante de espesor hectométrico con susceptibilidad próxima a las $2000 \cdot 10^{-6}$ ucs (1% de Fe_3O_4)]. Las anomalías gravimétricas residuales reflejan la presencia de abundantes sills básicos. Las anomalías causadas por estos sills son de longitud de onda elevada, subaflorantes y con casi 1 mGal de intensidad, de modo que placas apenas hectométricas de basaltos/diabasas con un contraste de densidad de unos 0.3 g/cm^3 respecto de las epiclastitas con las que se encuentren mezcladas, son un modelo verosímil para las mismas.

2) En el caso de la radiometría gamma natural en tierra, el rasgo radiométrico fundamental es el amplísimo rango de potasio que muestran todas las litologías presentes (salvo jaspes), con marcada bimodalidad en este elemento, especialmente evidente en tobas intermedias y epiclastitas ácidas (con modas en estas últimas entre el 6.0-7.0%; **tabla XV**). Ya había indicios de la bimodalidad del potasio radiométrico en la muestra regional, pero es mucho más patente en los datos de La Gallega. Existen muestras de basaltos, de dacitas, y de riolitas que han podido sufrir un cierto grado de potasificación, pero las ultrapotasificaciones características ($K > 6\%$) aparecen típicamente en rocas brechificadas y/o milonitizadas, ya sean tobas intermedias, dacitas o epiclastitas ácidas. Estas ultrapotasificaciones suelen implicar una intensa alteración hidrotermal, de modo que la roca puede clasificarse como hidrotermalita.

3) Estas características radiométricas del área de La Gallega imposibilitarían la interpretación del vuelo radiométrico sin el auxilio de los datos en tierra. Con este apoyo, los máximos de potasio aéreos indican una serie de correcciones a las cartografías geológicas disponibles. En particular, existen dos máximos aéreos de interés, que más que por las riolitas y dacitas de las cartografías de referencia, que también existen, estarían causados principalmente por epiclastitas milonitizadas (con 6 muestras de estas rocas con $\%K > 6$), que se encuentran mineralizadas según la cartografía minera disponible. Tanto en el registro aéreo como en el de las muestras en tierra estas epiclastitas son bimodales, con zonas intermedias de potasio (2.5-3%K), y zonas potasificadas y ultrapotasificadas. Estos dos últimos máximos son interesantes porque están asociados a diseminaciones en las que existen pequeñas labores de reconocimiento (varias calicatas y un pozillo) y por que parecen estar controlados por la cizalla que aparece en la cartografía geológica 1:25.0000 de la Junta de Andalucía que atraviesa el área de La Gallega.

4) Dadas las limitaciones de atenuación y resolución areal de los datos del vuelo cuando se trata de estudiar un área potasificada de una corrida apenas kilométrica, se decidió realizar un pequeño

ensayo metodológico consistente en la cartografía de la banda de cizalla mencionada con perfiles de espectrometría gamma natural terrestre de registro continuo (de paseo). El registro al suelo en modo de operación de paseo respecto al aéreo ha supuesto: a) Una mejor recuperación de los rangos y contenidos verdaderos de este elemento en las rocas estudiadas. Este aspecto es fundamental para la detección de ultrapotasificaciones, al menos en el caso del área de La Gallega, donde el registro aéreo es incapaz de diferenciarlas; b) Una definición geométrica general superior, y por tanto una mayor capacidad resolutive de cualquier aspecto cartográfico de detalle, como, v.g., una delimitación muy neta de la extensión de las potasificaciones en el entorno de bandas de cizalla.

5) En la zona de La Gallega, del trabajo realizado en tierra se deduce que: a) La interpretación geológico-minera de los datos aéreos requiere de medidas puntuales en tierra, imprescindibles para discernir el origen de las anomalías. La bimodalidad de las rocas, demostrada en este trabajo, constituye una fuerte limitación para la interpretación cualitativa tradicional de las imágenes aéreas, basada en la comparación de tales imágenes con los mapas geológicos disponibles. El trabajo al suelo permite subsanar interpretaciones litológicas erróneas que se hayan podido trasladar a tales mapas; b) El registro de espectrometría terrestre en modo continuo se justifica cuando la fidelidad de la determinación cuantitativa de la intensidad de las anomalías radiométricas pueda ser un factor fundamental en la valoración de la potencialidad prospectiva de las mismas, o bien cuando se quieran abordar aspectos como la resolución de geometrías de detalle, o la definición precisa de la estructura fina en cuanto a relaciones, extensiones y límites involucrados en anomalías de posible interés minero, circunstancias ambas que concurren en el caso de las anomalías en bandas de cizalla en la zona de La Gallega.

5.3. INTERPRETACIÓN GEOLÓGICA INTEGRADA DE IMÁGENES GRAVIMÉTRICAS, MAGNÉTICAS Y RADIOMÉTRICAS

El muestreo y análisis de las propiedades físicas relevantes de las rocas, según los métodos geofísicos de trabajo, suministra una base firme para abordar la interpretación magnética, gravimétrica y radiométrica integrada de las principales características lito-estructurales del Dominio Noroccidental de la Faja Pirítica cuyos principales resultados se resumen a continuación.

1) El Dominio Noroccidental de la Faja Pirítica (hojas 936-937) se caracteriza por presentar una amplia faja central Este-Oeste de anomalías gravimétricas positivas que refleja la importancia volumétrica de la Fm. Andesítico-Dacítica, típica del la Unidad de Gibraltar, y de las imbricaciones de esta formación con rocas basálticas.

Las anomalías magnéticas muestran una capacidad resolutive excelente para la cartografía de los materiales básicos, sugiriendo prolongaciones muy claras de las lineaciones basálticas, y en general una abundancia de estas rocas bastante mayor que la reflejada en el mapa geológico. Las alineaciones de basaltos y diabasas producen una serie de ejes anómalos en los que la correspondencia de las anomalías de gravedad con las anomalías magnéticas es elevada.

2) Flanqueando la faja anómala central anterior, destacan una serie de anomalías gravimétricas negativas que son la expresión de unidades menos densas: a) metasedimentarias (como el Gafo al Norte y el Culm al Sur; en el Gafo existen ejes gravimétricos y magnéticos de poca intensidad, típicos de la presencia del C.V.S. bajo metasedimentos, lo que apenas ocurre en el Culm citado); o, b) unidades volcánicas predominantemente ácidas como Concepción, Riotinto y faja de C.V.S. del Sur de la hoja 936 (Unidad de Gibraltar). Sin embargo, en estas tres últimas unidades sí existen notorias lineaciones magnéticas producidas por rocas basálticas aflorantes (U. de Concepción) o

subablorantes, en general muy cercanas a la superficie. El mapa magnético reducido al polo constituye un magnífico medio de cartografía de estos materiales básicos.

3) Los límites cabalgantes de las Unidades estructurales mayores producen señales de campo potencial, sobre todo magnéticas, cuando el C.V.S. está presente (caso de los límites de las Unidades de Gibraltar-Panera, Concepción y Riotinto). De la misma manera, las bandas de cizalla tienen su expresión de campo potencial cuando existen rocas básicas implicadas. Este es el caso de buena parte de las cizallas de la Unidad de Gibraltar-Panera, o de las que limitan al Norte y al Sur la escama de San Telmo de la Unidad de Concepción (límites de la masa volcano-epiclástica central con las láminas de la Fm. Andesítica que la bordean al Norte y al Sur).

En el caso de las Unidades no volcánicas (Gafo o Culm), las imágenes de campo potencial reflejan la importancia del volumen de los metasedimentos y la eventual continuidad bajo cobertera del C.V.S..

4) De acuerdo con el registro radiactivo aéreo, en el Dominio Noroccidental de la Faja Pirítica las volcanitas masivas del C.V.S. (desde dacitas a basaltos) presentan contenidos bajos en potasio, uranio y torio, salvo cuando se trata de volcanitas ácidas riolíticas, que suelen estar caracterizadas por máximos potásicos, aunque también existen riolitas que no producen señal potásica. La diferenciación al aire del espectro litológico basalto-andesita-dacita es casi impracticable. Las tobas ácidas se sitúan en registros radiactivos intermedio-bajos, inferiores a los esperables; extensas áreas de estas rocas muestran tonalidades que representan valores ligeramente superiores a los de las rocas básicas (existen máximos en estas rocas, pero bastante menos extensos que las áreas de radiación intermedia). En volcanitas, los *spots* radiactivos son potásicos (apenas de U y casi nunca de Th) típicos de riolitas, y en menor medida, de epiclastitas ácidas.

Las unidades metasedimentarias presentan un nivel general de radiación superior al de las volcanitas, pudiendo ser ordenadas fácilmente por orden creciente de emisión gamma natural aeroportada: Pq y Gafo ofrecen desde el aire señales típicas de U+Th de intensidad intermedia ($K \approx 2.5\%$, $1.5 < \text{ppm U} < 2.5$, $8 < \text{ppm Th} < 14$), lo que también sucede en parte del Culm. El resto del Culm y la Unidad Pulo do Lobo son las zonas más radiactivas (pizarras y esquistos con $K > 3.5\%$, $\text{U} > 2.5 \text{ ppm}$, $\text{Th} > 14 \text{ ppm}$). Existen subzonaciones con firmas saturadas en las unidades de radiación intermedia, y subzonaciones de radiación intermedia en las unidades de radiación elevada.

5) Los datos de la deconvolución de Euler indican que las láminas magnéticas de la Unidad de Gibraltar-Panera muestran emplazamientos someros, desde decamétricos hasta apenas hectométricos, con una o dos excepciones. Estas excepciones permiten, junto con las soluciones arrojadas por los datos gravimétricos, evaluar una potencia entre unos 300-600 m para la Formación Andesítica en las hojas 936 y 937. En la Unidad de Concepción puede hablarse de desarrollos de pocos hectómetros de las rocas básicas que producen las anomalías de campo potencial. Es factible obtener, según la profundidad de fuentes magnéticas intrasedimentarias, estimaciones de espesor metasedimentario del orden de 500 m en áreas de Culm, Gafo y Pulo do Lobo. En el contexto estudiado, no existen fuentes magnéticas profundas a partir de las que realizar evaluaciones con orden de profundidad kilométrico.

5.4. UBICACIÓN DE LOS INDICIOS MINEROS RESPECTO A LAS ANOMALÍAS GEOFÍSICAS DE DETALLE.

1) En el Dominio Noroccidental de la Faja Pirítica el contexto regional de aparición de los indicios mineros se caracteriza por su emisión radiactiva de intensidad baja-moderada, y por sus anomalías de campo potencial de fuente basáltica que frecuentemente enmascaran las señales locales que pudieran producir los indicios mineros: a) Las anomalías gravimétricas reflejan la importancia volumétrica de rocas más pesadas de la Fm. Andesítico-dacítica ($d > 2.7 \text{ g/cm}^3$), y de los sills basálticos ($d > 2.8 \text{ g/cm}^3$), frente a las masas más ligeras de volcanitas ácidas y metasedimentos ($d < 2.65 \text{ g/cm}^3$); b) Las anomalías magnéticas, de gran capacidad resolutive, constituyen un excelente medio de cartografía de los materiales más básicos (y de los jaspes) del Complejo Volcano Sedimentario, C.V.S.; c) Los contenidos en potasio, uranio y torio pueden calificarse de bajos a moderados en el espectro litológico que va de las volcanitas masivas intermedio-básicas a las epiclastitas ácidas del C.V.S. (excluyendo a las riolitas), de forma que el registro radiactivo del mismo alcanza intensidades intermedio-bajas en el mapa radiométrico ternario.

2) En las imágenes estudiadas, son frecuentes las anomalías de campo potencial de pequeña longitud de onda ($< 1 \text{ km}$), pero la mayor parte de ellas serían más relacionables con los ejes de campo potencial causados por volcanitas básicas, que con la existencia de indicios y minas. Sobre los mapas regionales la mayoría de indicios y minas se ubican en áreas anómalas, usualmente de interferencia entre anomalías magnéticas y gravimétricas de pequeña y mediana longitud de onda, de forma que la fuente anómala debe ser siempre relativamente compleja (mezcla de diversos contrastes lito-estructurales, con una eventual aportación de la masa anómala del yacimiento, lo que hace difícil separar la contribución correspondiente a éste último, en el supuesto de que exista).

3) Dado que prácticamente todos los indicios aparecen en áreas magnéticamente activas y que la mayoría de ellos se ubican en las proximidades de bandas de cizalla o cabalgamientos (v.g., 16 de los 19 de la hoja 937 en las unidades de Gibraltar-Panera y Concepción), un posible criterio prospectivo podría consistir en la localización de anomalías magnéticas puntuales situadas en la vecindad de bandas de cizalla, pero no en la de los ejes anómalos más claramente atribuibles a rocas básicas.

4) Por lo que respecta a la situación de los indicios de sulfuros sobre las mallas radiométricas aeroportadas, puede señalarse que su ubicación más general es en áreas de baja radiación, al menos por lo que respecta al potasio ($K < 2.3\%$). Ello refleja las características radiactivas del encajante superficial genérico de los indicios constituido por rocas intermedias poco radiactivas (Fm. Andesítico-dacítica de la Unidad de Gibraltar-Panera) o por epiclastitas ácidas de radiación moderada-baja (con excepciones en este caso, como en La Rica o La Gallega). No existen removilizaciones de K o U respecto al torio, pero sí ligeros enriquecimientos de U respecto a K.

Por tanto, las posibilidades prospectivas del registro radiométrico aéreo son más restringidas que en otras zonas de la Faja Pirítica: tanto en las Unidades de Concepción como en Gibraltar-Panera, las minas e indicios más importantes se encuentran en contextos de baja radiación, con ratios interelementales equilibrados, y sin que exista ningún *spot* radiactivo mono o bielemental claramente asociado a indicio alguno. Estos *spots* de los mapas radiométricos representan anomalías posiblemente explicables por controles litoestructurales discernibles. En el resto de áreas del Dominio Noroccidental, el C.V.S. es más radiactivo pero los indicios no se presentan en anomalías de textura fácilmente destacable. Obsérvese que el que no exista una relación directa indicio-anomalía radiométrica no supone la invalidación del entorno radiométrico como indicador indirecto de un contexto litoestructural favorable para la aparición de mineralizaciones de interés.

5.5. CARTOGRAFÍAS GRAVIMÉTRICAS, MAGNÉTICAS Y RADIOMÉTRICAS PARA EL ANÁLISIS MULTIDISCIPLINAR DE ÁREAS DE INTERÉS

Existen una serie de aspectos básicos, metodológicos y prácticos, a considerar en la construcción de cartografías geofísicas de utilidad en investigación minera en el sector estudiado de la Faja Pirítica, mediante su integración con las cartografías del resto de los datos multidisciplinarios del Proyecto de exploración regional y delimitación de zonas anómalas en dicho sector.

1) Desde un punto de vista metodológico las cartografías deben incluir mapas de anomalías residuales de campo potencial y radiométricas obtenidas mediante distintas técnicas. En el caso de las anomalías de campo potencial, en este estudio, tras la realización de diversos ensayos metodológicos con esquemas que combinaban diversos tipos de filtrados pasa-alta, derivadas direccionales, perpendiculares y paralelas a la dirección estructural principal, y señal analítica, se ha optado por un filtrado pasa-alta de 5 km y una derivada vertical de este resultado. Los máximos y mínimos radiométricos se establecen a partir de umbrales desde los contenidos en radioelementos aeroportados “de fondo” (promedios obtenidos una vez eliminados los extremos de las distribuciones de K, U, y Th) de cada unidad ígnea o metasedimentaria estudiada. Estos umbrales han de estar en proporción a los rangos radiométricos de cada unidad, de manera que una separación “zona de máximo-zona intermedia-zona de mínimo” con un límite entre una y tres desviaciones típicas resulta adecuada casi siempre: en el caso de este trabajo, en zonas prácticamente restringidas a áreas de C.V.S., la definición de anomalías de máximo y mínimo radiométrico se lleva a cabo por selección de valores superiores o inferiores a los de la media “de fondo” más 2 desviaciones típicas (de las mallas de datos, respectivamente, de K, U, y Th).

2) Obtenidas las anomalías residuales, las cartografías deben permitir el estudio de las relaciones entre las diferentes respuestas (magnéticas-gravimétricas-radiométricas) y el análisis de las anomalías no explicadas por los condicionantes litoestructurales de la zona de estudio. Esta clase de análisis admite muchas variantes, pudiendo usarse esquemas de combinación de información radiométrica con imágenes de campo potencial, superponiendo información vectorial de carácter geológico sobre imágenes monoelemento (o binarias o ternarias de diversos tipos). Este tipo de esquema debe adaptarse a las condiciones de cada trabajo en particular, que en el caso del contexto regional del Dominio Noroccidental de la Faja Pirítica se resumen en que:

-En general, tanto las anomalías magnéticas como las de gravedad son fácilmente asignables a fuentes basálticas, o a rocas intermedias (las gravíficas). Estas anomalías pueden enmascarar eventuales respuestas más tenues provenientes de fuentes locales, lo que claramente supone una limitación de la capacidad prospectiva minera de los métodos de campo potencial. Cuando las litologías dominantes son ácidas, los mapas gravimétricos suelen mostrar fuertes gradientes regionales o mínimos muy intensos que igualmente dificultan la prospección de masas mineras.

-Aunque las anomalías gravimétricas y magnéticas de pequeña longitud de onda (λ menor que 2 km) más evidentes se encuentran en los ejes anómalos producidos por volcanitas básicas, existen muchas anomalías donde la relación con éstas no es directa, de acuerdo con la geología de superficie.

-Un aspecto destacable a tener en cuenta son las anomalías magnéticas intensas y de pequeña longitud de onda producida por jaspes ferromagnéticos. Estas anomalías siempre pondrán de manifiesto la presencia de rocas volcánicas y epiclasticas en zonas de cobertera metasedimentaria. Aunque no se puede afirmar una relación directa entre esta clase de anomalías y la existencia de depósitos de interés (ver García Lobón, 1998a-b, 1999, y García Lobón, J. L., y Peláez Martínez, A. 1999, para un análisis en diversos entornos de la Faja), en la hoja 937 existen rasgos magnéticos del

tipo descrito claramente asociados a depósitos como S. Telmo y Lomero-Poyatos (la prospección magnética directa de depósitos de sulfuros es muy infrecuente en la Faja).

-Los *spots* radiactivos son potásicos y típicos de riolitas, y en menor medida, de epiclastitas ácidas. No existen indicios sobre este tipo de anomalías (aunque sí en sus proximidades). Los trabajos de radiometría en tierra han demostrado una compleja interpretación de las imágenes aéreas por la gran superposición de contenidos radiactivos entre litologías diferentes, con importantes solapamientos entre rocas básicas e intermedias, e incluso ácidas, lo que no va a favorecer su separación radiométrica. Existe una gran variedad de litologías donde pueden ocurrir “alteraciones radiactivas”, v.g., potasificaciones, pero que se manifiestan como anomalías aéreas sólo en litologías ácidas, frecuentemente en bandas de cizalla. Por todas estas razones, creemos que no es factible establecer guías simples y generales basadas en la intensidad o extensión de las anomalías radiométricas aéreas.

-El contenido más elevado en altas frecuencias lo presenta el mapa magnético reducido al polo. Todo el C.V.S. puede considerarse como un área magnética activa. Aparentemente, el mapa magnético constituye un buen elemento de referencia para la prospección minera, tanto por lo que respecta a contenido anómalo, como por lo que se refiere a la asociación de este contenido con la existencia de indicios.

-Existe un control estructural importante, ya que casi todos los indicios se ubican en las proximidades de accidentes estructurales mayores (v.g., 19 de 24 indicios de la hoja 937 en bandas de cizalla de esta hoja). Esto refuerza el criterio prospectivo consistente en la localización de anomalías de campo potencial o radiométricas puntuales situadas en la vecindad de bandas de cizalla.

-El trabajo en tierra en la zona de La Gallega muestra con claridad el interés geofísico, especialmente radiométrico, de áreas potasificadas en bandas de cizalla con una clara asociación de anomalías geofísicas y potencialidad minera. Se desprende la necesidad de un análisis geofísico completo de tales bandas, con abundantes indicios y yacimientos en su entorno como demuestra la reciente cartografía de la Junta de Andalucía de la hoja 937, sin descartar los métodos de campo potencial, aunque en La Gallega no ofrezcan resultados relevantes. En cuanto al problema de la detección, determinación geométrica y cuantitativa de las potasificaciones/ultrapotasificaciones, el trabajo en tierra realizado en la zona demuestra la necesidad del registro al suelo de las anomalías radiométricas. Obsérvese que el aspecto fundamental es el establecimiento de la fuente anómala y de las relaciones cuantitativas entre las anomalías terrestres y aéreas, establecimiento que no tiene por que necesitar de un trabajo de campo tan exhaustivo como el desarrollado en La Gallega.

3) Las cartografías geofísicas propuestas en este estudio para su integración con las cartografías del resto de los datos multidisciplinarios, consisten en una derivada vertical tras la aplicación de un filtrado pasa alta de 5 km, tanto para la anomalía de Bouguer como para el mapa magnético y una cartografía ternaria de máximos radiométricos a dos desviaciones típicas, es decir las zonas donde $K > 3.80\%$ ó $U > 2.80$ ppm ó $Th > 16.5$ ppm. Las cartografías geofísicas, además de realzar las anomalías de longitud de onda corta, han incorporado como base geológica e interpretativa la información de límites de las principales unidades volcánicas, bandas de cizalla y ejes de campo potencial.

La mayoría de los indicios de sulfuros (12 entre 19) se ubican en zonas de anomalía de gradiente vertical de gravedad (tomando como umbral anómalo la media más una desviación típica de la malla de gradiente, igual a 0.0011 mGal/m). En el caso del gradiente vertical magnético, todos los indicios menos dos se ubican en zonas de anomalía (tomando como umbral la media más una desviación típica de la malla de gradiente, igual a 0.0010 nT/m). Todo ello indica que estas cartografías deben adaptarse

bien a enfoques estadísticos multidisciplinarios de tipo Bayesiano o basados en redes neuronales. En cambio, los indicios y minas no producen anomalías radiométricas en el mapa de máximos ternarios. Se insiste de nuevo en que el que no exista una relación directa indicio-anomalía radiométrica no supone la invalidación del entorno radiométrico como indicador indirecto de un contexto litoestructural favorable para la aparición de mineralizaciones: de hecho en este trabajo se ha demostrado que las potasificaciones más espectaculares se asocian a cabalgamientos y bandas de cizalla que también controlan la existencia de indicios y mineralizaciones de interés.

Por último, obsérvese que una selección multidisciplinaria automática de áreas de interés debe ser manejada con precaución, de acuerdo con los condicionantes que se acaban de mencionar. La derivada vertical del campo magnético está dominada por respuestas provenientes de lineaciones de rocas básicas, que también son visibles, aunque resultan más difíciles de discriminar cuando la fuente es más masiva, en la derivada gravífica (v.g., lineación de La Joya, lineaciones del límite Sur de la Unidad de Gibraltar-Panera). Todo ello implica, como no puede ser de otro modo, que en los mapas derivados los máximos geofísicos de campo potencial y radiométricos reflejan controles litológicos importantes, que pueden resultar sobrevalorados en el análisis automático. De manera inversa, un análisis multidisciplinaria automática puede tender a minusvalorar la información radiométrica en zonas que no sean de máximo, sino de mínimo (áreas con rocas intermedias y básicas); por ejemplo, casos de indicación radiométrica de interés podrían consistir en potasificaciones tenues sobre lineamientos de anomalías de detalle de campo potencial en banda de cizalla, o configurando lineamientos en los que existan indicios, zonas gossanizadas, etc.

6. REFERENCIAS

- *AGICO (1996). KLY-3 User's Guide. Modular system for measuring magnetic susceptibility, anisotropy of magnetic susceptibility, and temperature variation of magnetic susceptibility. Advanced Geoscience Instrument, Co. Brno. 12 p.
- *Bates, M. y García Lobón, J. L. (1998). *Exploración aeromagnética y radiométrica de la Faja Pirítica y zonas limitrofes*. Fondo documental del IGME, Informe **40464**. Madrid.
- *Clark, D. A. (1997). Magnetic petrophysics and magnetic petrology: aids to geological interpretation of magnetic surveys. *Journal of Australian Geology and Geophysics*, **17**: 83-103.
- *Dickson, B. L., and Scott, K. M. (1997). Interpretation of aerial gamma ray surveys: adding the geochemical factors. *Journal of Australian Geology and Geophysics*, **17**: 187-200.
- *EXPLORANIUM (1998). *GR-320. Portable gamma ray spectrometer users manual*. 73 p.
- *García Lobón, J. L. (1998a). *Análisis de detalle del Vuelo Magnético y Radiométrico de la Faja Pirítica en la hoja 1/25.000 n° 960-II. Berrocal*. Fondo documental del IGME, Informe **40.469**. Madrid.
- *García Lobón, J. L. (1998b). *Análisis de detalle del Vuelo Magnético y Radiométrico de la Faja Pirítica en la hoja 1/25.000 n° 959-I. Villanueva de las Cruces*. Fondo documental del IGME, Informe **40.474**. Madrid.
- *García Lobón, J. L. (1999). Interpretación del vuelo magnético y radiométrico de la Faja Pirítica en las hojas 1:25.000 n° 959-I Villanueva de las Cruces y 960-II Berrocal. *Boletín Geológico y Minero*, **110-3**: 255-272.
- *García Lobón, J. L., y Peláez Martínez, A. (1999). Cartografía geofísica y situación de indicios mineros respecto de anomalías magnéticas, radiométricas y gravimétricas en cuatro áreas de la Faja Pirítica. *Boletín Geológico y Minero*, **110-6**: 715-738.
- *GEOFYZIKA, a. s. (1995). JR-5 / JR-5A. Spinner Magnetometer. Instruction Manual. Brno. 9 p.
- *GEOSOFT (1996). *Euler 3D Deconvolution: processing, analysis and visualization System for 3D inversion of potential field data. User guide*. Manual de GEOSOFT: 53 p. Toronto, Canada.
- *GEOSOFT (1997a). *OASIS montaj: data processing and analysis (DPA) System for earth science applications. User guide*. Manual de GEOSOFT: 290 p. Toronto, Canada.
- *GEOSOFT (1997b). *MAGMAP (FFT-2D): 2D Frequency domain processing of potential field data. User guide*. Manual de GEOSOFT: 54 p. Toronto, Canada.

- *Gunn, J. P. (1997). Quantitative methods for interpreting aeromagnetic data: a subjective review. *Journal of Australian Geology and Geophysics*, **17**: 105-114.
- *Henkel, H. (1991). Petrophysical properties (density and magnetization) of rocks from the northern part of the Baltic shield. *Tectonophysics*, **192**: 1-19.
- *Henkel, H. (1994). Standard diagrams of magnetic properties and density: a tool for understanding magnetic petrology. *Journal of Applied Geophysics*, **32**: 43-53.
- *Hinze, W. J. (1990). The role of gravity and magnetic methods in engineering. *Geotechnical and environmental Geophysics*, 75-126. SEG, Tulsa.
- *Jayawardhana, P. M., y Sheard, S. N. (2000). The use of airborne gamma-ray spectrometry-A case study from the Mount Isa inlier, northwest Queensland, Australia. *Geophysics*, **65**: 1993-2000.
- * Junta de Andalucía. *Proyecto de Investigación Geológica y Cartografía Básica en la Faja Piritica y Áreas Aledañas. 1998-2000.*
- *Mooney, H. M. and Bleifuss, R. (1952). Magnetic susceptibility measurements in Minnesota. *Geophysics*, **18**: 383-393.
- *Plata, J. L., García, J. L., Rubio, F. M., y Navas, F. J. 1996. *Proyecto integrado de estudio geológico y metalogenético de la Faja Piritica*. Informes de Geofísica de 1995 y 1996. Fondo documental del IGME, documento **40445**
- *Reid, A. B., Allsop, J. M., Granser, H., Millett, A. J. y Somerton I. W. (1990). Magnetic interpretation in three dimensions using Euler deconvolution. *Geophysics*, **55**: 80-91.
- *Simancas, J. F., Carbonell, R., González Lodeiro, F., Pérez Estaún, A., Ayarza, P., Juhlin, C., Azor, A., Martínez Poyatos, D., Expósito, I., Ruiz de Almodóvar, G., Sáez, R. y Pascual, E. (2003). Interpretación de la imagen sísmica de la corteza del SO de Iberia (perfil sísmico profundo de reflexión IBERSEIS). *Tectonophysics*, (en prep.).
- *Schön, J. H. (1995). *Physical properties of rocks*. Pergamon, 575 p.
- *Shives, R. B. K., Charbonneau, B. W., and Ford, K. L. (1997). The detection of potassic alteration by gamma ray spectrometry: recognition of alteration related to mineralization. *Proceedings of Exploration 97: Fourth Decennial International Conference on Mineral Exploration. Radiometric methods and remote sensing*. A. G. Gubins (ed), Toronto, 741-752.
- *Spector, A., Hood, P. J., Farah, A. and Ahmed, W. (1985). Applications of aeromagnetic data to mineral resources exploration. Baluchistan, Pakistan. In Hinze, J. W. Ed. *The utility of Regional Gravity and Aeromagnetic Maps*, SEG, Tulsa, 132-143.
- *Urquhart, W. E. S., and Strangway, D. W. (1985). Interpretation of part of an aeromagnetic survey in the Matagami area of Quebec. In Hinze, J. W. Ed. *The utility of Regional Gravity and Aeromagnetic Maps*. SEG, Tulsa, 426-438.

7. ANEXOS

7.1. PARÁMETROS. INSTRUMENTACIÓN.

DENSIDADES

Partiendo de las siguientes definiciones y nomenclatura:

V = volumen de muestra (matriz+poros);
 F= porosidad en tanto por uno;
 dm= densidad de la matriz (densidad real)
 m= masa de la muestra seca

V_m = volumen de la matriz = $V(1-F)$
 d= densidad de la muestra seca (densidad aparente)
 df= densidad del fluido que rellena los poros (aire=0, agua=1)
 g= aceleración de la gravedad

Se puede poner: $m = V d = V F df + V(1-F) dm$; $m = V_m dm$;
 para $df=0$ considerando que la masa de la muestra es por tanto la masa de la matriz, y $d=(1-F) dm$;

En la determinación con BALANZA HIDROSTÁTICA, se procede a pesar la muestra en aire, de donde se obtiene:

P= peso en aire de la muestra seca P_s = peso en aire de la muestra saturada de agua
 $P = m g = V d g = V dm (1-F) g$
 $P_s = P + V F 1 g$; $VgF = P_s - P$
 de donde $d = P/V g$

Procediendo a pesar la muestra en agua se obtiene el peso de la muestra saturada, dentro del agua (P_{as}):

$P_{as} = P_s - V g$; $V g = P_s - P_{as}$ y por tanto:

$d = \frac{P}{Vg} = \frac{P}{P_s - P_{as}}$ = peso específico aparente

$dm = \frac{d}{(1-F)} = \frac{P}{(1-F)Vg} = \frac{P}{(P_s - P_{as}) - (P_s - P)} = \frac{P}{P - P_{as}}$ = peso específico real

Como valores derivados pueden calcularse:

cantidad de agua absorbida= $P_s - P$; coeficiente de absorción= $(P_s - P)/P$; porosidad $F = (P_s - P)/Vg = 1 - (d/dm)$

SUSCEPTIBILIDADES

Como paso previo, unos 100 cc de muestra fue triturado a tamaños inferiores a 2 mm, de los que unos 10 cc se introducían en un cilindro de 1". El instrumento usado para medir la susceptibilidad magnética ha sido el puente kappabridge KLY-3 (AGICO, 1996).

En este tipo de aparatos el campo imanador proviene de un solenoide o de un par de bobinas. Unas bobinas coaxiales son utilizadas para detectar la imanación inducida. Insertando la muestra en el

sistema de bobinas se altera el balance inductivo y se produce una señal que será proporcional a la susceptibilidad total de la muestra.

Especificaciones: Frecuencia de operación: 875 Hz; Intensidad del campo: $300 \text{ A} \cdot \text{m}^{-1}$; Sensibilidad: $3 \cdot 10^{-8}$ (S.I)

MAGNETIZACIÓN REMANENTE

La preparación de la muestra consiste en el corte de un paralelepípedo rocoso de 1" que se introduce en el mismo cilindro usado en las medidas de susceptibilidad. El instrumentación para medir la Imanación es el magnetómetro de spin JR5 (GEOFYZICA, 1995).

El Magnetómetro JR5 es utilizado en los laboratorios para medir la Imanación Remanente de las rocas en estudios de las propiedades magnéticas de las mismas.

Principio de medida: la muestra de roca de tamaño y forma definida rota a una velocidad angular constante dentro de un par de bobinas. En las bobinas un voltaje ac se induce, cuya amplitud y fase dependen de la magnitud y de la dirección del vector RM de la muestra. El voltaje es amplificado, filtrado y digitalizado. Mediante un análisis de Fourier se calculan 2 componentes perpendiculares de la proyección del vector RM en un plano perpendicular al eje de rotación. De este modo y mediante cuatro medidas consecutivas de cada muestra en diferentes posiciones se calcula el vector Imanación Remanente de las muestras respecto al sistema de coordenadas elegido (el propio de la muestra o el resultante tras una corrección tectónica).

Especificaciones: Velocidad de rotación: 89.3 rev/s; Sensibilidad. $2.4 \cdot 10^{-6}$ A/m

CONCENTRACIONES ESPECTROMÉTRICAS IN-SITU

Se ha empleado el espectrómetro de rayos gamma GR-320 (EXPLORANIUM, 1998) portátil para medición in situ de las concentraciones de radioelementos (%K, ppmU y ppmTh) en sitios muestreados para densidad y susceptibilidad. Hay que destacar que este instrumento, por su característica de monitorización continua y automática de la alineación espectral de sus 256 ventanas (mediante una fuente de Cs-137 que lleva incorporada) carece prácticamente de deriva, por lo que proporciona concentraciones de K, U y Th de valor geoquímico si el afloramiento ofrece buenas condiciones de medición (roca fresca, geometría 2π).

En campo el instrumento se configura para el modo de operación seleccionado (nº de canales, tipo de medida, tiempo de medición, etc.), se efectúa el test de alineación con la fuente de Cs, y se efectúa la medida (normalmente medidas dobles) en cada sitio elegido. En oficina, una vez descargada la memoria del aparato, a través del software apropiado, con los datos de calibración del espectrómetro GR-320, ambos suministrados por el fabricante, las cuentas en cada una de las 256 ventanas energéticas del instrumento se transforman en contenidos de K, U y Th.

Especificaciones: $v=0.35$ litros (21" cúbicas); 114x395 mm (4.5"Ø x 15.5"); $p=3.6$ kg; 256/512 canales; uno o dos detectores; estabilización automática; calibración incorporada.

7.2. FICHERO DE RESULTADOS: PETROFÍSICA_TOTAL.XLS

Clave de contenido:

Nº : nº muestra

X : coordenada X UTM huso 30

Y : coordenada Y UTM huso 30

Hoja : nº de hoja geológica, según el M.T.N. 1/50.000

Litología : clasificación de campo o mediante lámina

CL : código litológico según tabla V

Un : código de Unidad (10: Pulo do Lobo, 20: Gafo, 30: Pq, 40: C.V.S., 60: Culm)

L : P indica lámina y probeta, L sólo lámina

Dap : densidad aparente

Sus : susceptibilidad aparente

Q : parámetro de Koenigsberger

K : % potasio

U : ppm uranio

Th : ppm torio

Rt : radiación total (ppm eU) (Igual a cero: indica afloramiento sin posibilidad de medición)

7.2.1. VOLCANITAS BÁSICAS

N	X	Y	H	LITOLOGIA	Cd	Un	L	Dap	Sus	Q	K	U	Th	Rt
211	684025	4179658	937	ANDESITA (CON Q+PX)	11	40	L	2,84	38					
221	676800	4178244	937	ANDESITA	11	40	L	2,76	34					0,0
230	673179	4177063	937	ANDESITA (FACIES Q+PX)	11	40	L	2,82	22					
233	673232	4177542	937	ANDESITA ANFIBOLICA-PIROXEN.	11	40	L	2,79	26					
251	687453	4182959	937	ANDESITA	11	40	L	2,87	86					
255	684703	4186689	937	ANDESITA	11	40	L	2,79	170		0,5	0,2	5,8	6,6
525	666517	4177486	937	ANDESITA (DACITA)	11	40	L	2,83	2		0,6	1,4	9,8	11,0
1110	688150	4184000	937	ANDESITA	11	40	L	2,87	44					
1174	656525	4180650	936	ANDESITA (ROCA HÍBRIDA)	11	40	L	2,84	51					0,0
1187	657150	4177400	936	ANDESITA	11	40	L	2,80	41		1,2	0,4	10,0	12,4
1515	681930	4186253	937	ANDESITA (MUESTRA SUELTA)	11	40	L	2,74	104	0,08	0,4	1,0	4,9	7,4
1518	681239	4186377	937	TOBA ANDESITA-ESTLP	11	40	L	2,51	43	0,44	0,2	0,2	3,1	3,9
1519	681306	4186684	937	ANDESITA	11	40		2,89	48		0,5	0,5	3,8	6,3
1523	684317	4187082	937	ANDESITAS	11	40		2,80	49		0,6	0,0	5,7	6,5
1524	684192	4186950	937	ANDESITAS-ESTLP	11	40	L	2,72	36	0,06	0,9	0,5	4,9	8,2
1525	684300	4186801	937	ANDESITAS	11	40		2,79	35					
1527	685547	4186584	937	ANDESITA	11	40		2,81	35		0,7	0,5	3,8	7,2
1528	685575	4186729	937	ANDESITA	11	40	L	2,71	44	26,17				
1529	686035	4186634	937	ANDESITA	11	40		2,83	57					
1533	685918	4182860	937	ANDESITA	11	40		2,80	45		0,6	0,4	5,1	7,0
1534	685680	4182405	937	ANDESITA CENTRAL	11	40	L	2,76	44	0,13				
1536	680114	4186185	937	ANDESITA	11	40		2,86	51		0,6	0,4	5,1	5,0
1537	680400	4186725	937	ANDESITA	11	40		2,84	33					
1538	677760	4187101	937	ANDESITA	11	40		2,80	35		0,6	1,0	7,0	8,8
1565	683452	4182542	937	ANDESITA CENTRAL	11	40	L	2,77	49	0,02	0,9	0,9	4,8	9,7
1579	683485	4182120	937	ANDESITA	11	40		2,79	35					
1581	683547	4180090	937	ANDESITAS	11	40	L	2,81	39	0,12	2,2	0,5	9,8	16,2
1582	684218	4179862	937	ANDESITA	11	40		2,71	43		0,3	0,0	1,9	3,4
1583	684001	4179603	937	ANDESITA (AFLORANDO GRANDE)	11	40	L	2,83	45	0,06	0,4	0,8	5,2	6,5
1590	684422	4179849	937	ANDESITA CENTRAL	11	40	L	2,76	42	0,04	0,4	1,0	4,2	6,3
1595	671039	4181839	937	ANDESITA	11	40		2,75	49		0,9	0,1	6,8	9,2
1596	669255	4181655	937	ANDESITA (PLACAS AL SUELO)	11	40		2,75	35		1,4	0,0	5,7	9,6
1607	666500	4177500	937	ANDESITA (AFLORAMIENTO 525)	11	40		2,71	57	0,26				
1619	671392	4177722	937	ANDESITA	11	40		2,81	27	0,28	0,9	0,7	5,7	9,5
1620	671185	4178343	937	ANDESITA	11	40		2,82	18	0,29	2,5	1,1	8,9	17,7
1624	672364	4177739	937	ANDESITA	11	40		2,83	30	0,38	0,9	0,2	8,7	9,7
1632	677334	4183221	937	ANDESITA	11	40		2,76	20		0,6	0,6	7,3	8,9
1635	677834	4182600	937	ANDESITA (SERIE CENTRAL)	11	40	L	3,00	40		1,3	2,3	11,2	15,0
1636	677403	4182114	937	ANDESITA (SERIE CENTRAL)	11	40	L	2,64	15		0,6	1,4	7,5	9,0
1641	678340	4179827	937	ANDESITA (SERIE CENTRAL)	11	40	L	2,79	60		0,5	1,0	5,4	7,4
1642	678046	4179998	937	ANDESITA	11	40		2,77	33		0,7	0,5	9,6	9,7
1646	678550	4180587	937	DACITA - ANDESITA	11	40		2,84	46		0,6	0,4	4,9	7,2
1649	677520	4181391	937	ANDESITA	11	40	L	2,71	43		0,7	1,3	8,6	10,3
1662	675247	4182770	937	ANDESITA (SERIE CENTRAL)	11	40	L	2,57	17		0,7	1,4	6,0	9,3
1663	678638	4183366	937	ANDESITA (SERIE CENTRAL)	11	40	L	2,67	26		1,1	1,3	9,0	11,8
1672	675489	4178868	937	SERICITIZDA	11	40	L	2,84	38	0,09	1,4	1,4	6,5	12,8
1679	673410	4180835	937	ANDESITA (CENTRAL).Cort. Bujarda	11	40	L	2,87	26	0,82	1,1	1,9	5,7	11,8
1680	673177	4179657	937	ANDESITA	11	40		2,79	28		0,8	2,0	7,0	10,5
1714	684773	4179078	937	ANDESITA (SERIE CENTRAL)	11	40	L	2,80	27	0,05	0,2	1,3	8,6	9,3

1716	685702	4180876	937	ANDESITA - DACITA	11	40	L	2,75	25	0,04	0,9	0,0	8,3	10,2
1718	686163	4180772	937	ANDESITA	11	40		2,79	31		0,3	1,0	5,8	7,2
1732	678590	4176088	937	ILLITA-SERICITA	11	40	L	2,64	47	0,03	1,9	1,1	12,7	17,4
1767	662921	4178196	937	ANDESITA	11	40	P	2,87	20	0,02	0,7	1,5	4,1	8,8
1770	667007	4180378	937	ANDESITA	11	40	P	2,81	28	0,59	0,6	1,3	7,1	9,5
1771	667781	4181235	937	ANDESITA	11	40	L	2,81	28		0,8	1,8	5,2	9,8
1772	668106	4181707	937	ANDESITA BASICA (EN DACITAS)	11	40	P	2,75	242	0,09	1,8	0,6	7,8	13,7
1800	656705	4176522	936	ANDESITA SERIE INTERMED.	11	40	P	2,76	50	0,45	1,4	1,7	8,4	12,8
1801	657257	4176906	936	ANDESITA	11	40	P	2,71	36	0,47	1,3	0,8	7,4	12,3
1840	652937	4172758	936	ANDESITA	11	40	P	2,91	30		0,6	0,8	8,8	9,7
1849	651465	4171241	936	ANDESITA	11	40	P	2,84	42	0,51	0,9	1,1	4,7	9,1
1946	667500	4181500	937	ANDESITA-DACITA. Zrisco	11	40	P	2,8	46					
22	682019	4185107	937	FRAGMENTOS DE BASICAS	12	40		2,80	1123		0,5	2,1	7,9	4,9
191	681215	4178709	937	BASALTO ALTERADO	12	40	L	2,89	36					
202	680474	4179771	937	ANDESITA-BASALTO (hibrida,muy alterada)	12	40	L	2,93	40					
245	680194	4186289	937	BASALTO	12	40	L	2,86	87		0,4	0,0	3,4	4,3
510	676604	4175769	937	BASALTO - ESPILITA	12	40	L	2,95	63		0,3	0,0	2,4	3,6
518	674357	4182031	937	BASALTO (TEXTURA BRECHOIDE)	12	40	L	2,87	125					0,0
632	689853	4168306	960	BASALTO (TEXTURA MICROLÍTICA)	12	40		2,74	48					
639	688891	4166709	959	BASALTO (MUY ALTERADO)	12	40		2,89	42					
1517	681094	4186184	937	BASALTO (AFLORANDO)	12	40		2,94	27		0,1	0,5	1,1	3,1
1526	685252	4186006	937	BASALTO. Emp. Prof. Potasificación plag.	12	40	L	2,83	347	0,89	1,6	0,5	3,5	10,2
1530	686124	4186065	937	BASALTO	12	40		2,87	430					
1531	686321	4186012	937	BASALTO	12	40	L	2,75	657	0,55	0,9	0,5	7,7	10,2
1532	686844	4183963	937	BASALTO	12	40	L	2,77	54	0,29	0,8	2,6	5,6	10,9
1540	688400	4186011	937	BASALTO	12	40	L	2,64	1123	0,50				
1542	687540	4186325	937	BASALTO	12	40		2,90	1479					
1544	684746	4186111	937	BASALTO	12	40		2,79	897					
1551	682044	4185389	937	BASALTO SILL	12	40	L	2,95	3206	0,77				
1555	681850	4184644	937	BASALTO SILL	12	40	L	2,88	3001	0,98				
1559	681217	4185041	937	BASALTO SILL	12	40	L	2,78	1107	0,91				
1560	681160	4185041	937	BASALTO SILL	12	40	L	2,89	4208	2,43	0,1	0,3	7,5	6,7
1562	684017	4184144	937	BASALTO SILL	12	40		2,94	4009					
1569	684842	4184132	937	BASALTO SILL	12	40	L	2,90	80	0,16				
1572	685199	4185439	937	BAS-SILL (MAL SITIO BOLO: Pot-plg)	12	40	L	2,80	3209	0,28	2,2	0,8	5,2	14,0
1584	676408	4175750	937	BASALTO SILL	12	40	L	2,89	72	0,04	0,4	0,5	1,2	4,0
1585	677460	4175870	937	BASALTO SILL	12	40		2,88	34					
1591	685290	4180937	937	BASALTO SILL	12	40		2,86	54					
1615	667627	4175286	937	BASALTOS ESPILITIZADOS	12	40	L	3,09	130		0,6	0,3	0,8	4,7
1633	677889	4183190	937	SILL. EPIDOTIZACI. - POTASIFICACIONES	12	40	L	2,86	232		2,1	1,8	7,6	16,4
1634	677838	4182689	937	BASALTO	12	40	L	2,68	1008					0,0
1637	677392	4181932	937	BASALTO SILL	12	40	L	2,75	2707		0,6	0,8	4,1	6,6
1638	677572	4181856	937	BASALTO	12	40		2,89	1301		0,9	0,6	5,0	8,1
1643	677553	4180120	937	BASALTO ESPILITIZADO. CLORITIZADO	12	40	L	2,72	1250	0,41	2,5	1,1	7,2	17,7
1644	677553	4180375	937	BASALTO ESPILITIZADO	12	40		2,89	702					
1645	678115	4180510	937	BASALTO ESPILITIZADO	12	40	L	2,94	1305		0,4	0,2	3,2	5,6
1647	677424	4180606	937	BASALTO ESPILITIZADO	12	40	L	2,93	130		0,7	0,6	2,8	6,4
1669	674878	4177109	937	BASALTO	12	40	L	2,56	1507					
1746	696175	4186478	938	SILL BASICO	12	40	P	2,72	48	0,01	0,8	0,3	4,5	7,9
1749	695701	4184673	938	SILL BASICO	12	40	P	2,68	1607	0,50	1,0	1,9	5,8	11,0
1751	696533	4185028	938	SILL BASICO	12	40		2,89	1216					0,0
1752	696458	4184870	938	SILL BASICO	12	40	P	2,76	2105	1,00				0,0

1754	696532	4184675	938	SILL BASICO	12	40	2,89	1006							0,0
1755	695958	4187029	938	SILL BASICO	12	40	P 2,78	4801	0,39	1,9	0,2	5,4	12,0		
1757	692415	4185768	938	SILL BASICO	12	40	P 2,57	1160	0,88	0,4	1,0	6,2	7,7		
1758	692204	4185783	938	SILL BASICO	12	40	P 2,66	1209	0,25	0,4	1,0	5,6	7,6		
1759	691393	4187016	938	SILL BASICO	12	40	P 2,68	3308	0,21	0,8	0,1	7,7	8,9		
1760	690709	4183574	938	SILL BASICO	12	40	P 2,69	6014	0,18	0,8	1,1	6,7	9,4		
1765	661486	4177770	937	SILL BASICO	12	40	P 2,79	1252	4,13	1,7	1,3	8,5	14,7		
1854	682107	4185208	937	Basalto: MEDICION EN AFLORAMIENTO	12	40	L 2,72	1004		0,9	2,1	6,3	6,1		
1860	682199	4185341	937	AFLORAMIENTO DE BASALTO	12	40	L 2,81	1520		0,3	3,2	7,6	6,3		
1863	682486	4185424	937	SILL BASICO: empl. Super. Potasio intersticial	12	40	L 2,82	2433		2,2	2,7	6,6	16,7		
1878	682700	4185086	937	SILL BASICO. Sulfuros visibles en mano	12	40	L 2,92	192		0,3	0,7	4,2	6,5		
1913	683657	4185392	937	AFLORAMIENTO DE BASALTOS	12	40	2,68	330		2,4	1,5	6,2	16,1		
5	685626	4166527	959	TRAQUIANDESITA	13	40	L 2,78	41							
162	688076	4170435	959	TRAQUIANDESITA CARBON.-SILICIFICADA	13	40	L 2,74	36							
178	665687	4180392	937	TRAQUIANDESITA (ROCA HÍDRICA)	13	40	L 2,71	36		1,5	1,6	6,2	13,4		
201	680407	4179734	937	TRAQUIANDESITA (CON PX)	13	40	L 2,73	28							
263	682374	4184277	937	TRAQUIANDESITA (cloritizada, opacos)	13	40	L 2,79	3259	0,26						
1496	682462	4184268	937	ROCA INTERMEDIA (FPLL-263)	13	40	2,78	3640							
1567	683151	4184177	937	TRAQUIBASALTO (similar a FPLL-263)	13	40	2,76	3204		1,0	2,3	7,2	11,2		
1578	680441	4180270	937	TOBAS TRAQUIBASALT. Seri_Clorit	13	40	L 2,73	64	0,22	2,1	1,0	6,7	17,0		
1805	657541	4174518	936	TRAQUIBASALTO (SILL BASICO)	13	40	P 2,90	3508		0,3	1,5	4,6	7,3		
1948	667950	4181150	937	TRAQUIBASALTO. Zrisco	13	40	P 2,8	46							
1949	667500	4181000	937	TRAQUIBASALTO. Zrisco	13	40	P 2,7	48							
1950	667261	4180514	937	TRAQUIBASALTO. Zrisco	13	40	P 2,7	230							
2	686111	4167819	959	DOLERITA-DIABASA	14	40	L 2,91	83							
4	685664	4167102	959	DOLERITA-DIABASA	14	40	L 2,86	83							
186	680223	4177568	937	DIABASA	14	40	L 2,90	74							0,0
198	680926	4179101	937	DIABASA	14	40	L 2,95	48							
215	679389	4177632	937	DIABASA-GABRO (PX)	14	40	L 2,92	40		0,5	0,8	2,4	5,4		
227	675428	4176506	937	DIABASA	14	40	L 2,96	76							0,0
250	687271	4184206	937	DIABASA	14	40	L 2,95	1107	0,61						
252	687244	4183715	937	DIABASA	14	40	L 2,80	170							
253	684845	4184127	937	DIABASA PROPILITIZADA	14	40	L 2,81	340							
258	685691	4185479	937	DIABASA	14	40	2,83	83							
490	688610	4186640	937	DIABASA	14	40	L 2,87	51							
1196	646825	4177450	936	DIABASA CORTA AL CULM	14	40	L 2,77	67							0,0
1499	687270	4184172	937	DIABASA ESPILITIZADA (FPLL-250)	14	40	2,91	1240	0,47						
1586	679569	4177277	937	DIABASA	14	40	2,99	54							
1589	681639	4178320	937	DIABASA. INTRUSIVA CER. AND.	14	40	L 2,93	51	0,10	0,5	0,0	1,2	3,9		
1592	678695	4177651	937	DIABASA. INTRUSIVA CER. AND.	14	40	L 2,95	45	0,02	0,8	0,1	2,1	5,9		
1593	675444	4176547	937	DIABASA (CANTERA)	14	40	L 2,92	117	0,06	0,1	0,0	0,4	1,6		
1650	680958	4179160	937	DIABASA SILL	14	40	L 2,93	41		0,6	0,0	0,4	4,0		
1655	678533	4178413	937	DIABASA.SILL.Potasificacion plagioclasas	14	40	L 2,84	6508	0,24	2,6	0,9	2,2	13,8		
1661	677969	4170733	959	DIABASA SILL BASICO	14	40	2,95	71	0,46						
1666	681250	4178458	937	DIABASA. INTRUSIVA DEL CERRO	14	40	L 2,78	2606	0,92	0,7	0,6	2,2	5,7		
1667	680738	4178370	937	DIABASA. INTRUSIVA DEL CERRO	14	40	L 2,87	4853	0,56						
1681	682605	4178435	937	DIABASA SILL	14	40	2,88	60		1,3	0,5	4,8	11,0		
1701	680694	4176085	937	DIABASA SILL	14	40	P 2,81	46	0,02						0,0
1707	685455	4178498	937	DIABASA SILL	14	40	L 2,71	24	0,15	0,9	0,9	5,8	9,1		
1712	685075	4178521	937	DIABASA	14	40	2,81	53							
1808	656910	4174346	936	DIABASA POTASIFICADA	14	40	P 2,79	48		2,2	1,7	1,8	13,9		
1841	651889	4173175	936	DIABASA	14	40	P 2,73	50		1,1	0,9	7,7	11,0		

7.2.2. VOLCANITAS ÁCIDAS

N	X	Y	H	LITOLOGIA	Cd	Un	L	Dap	Sus	Q	K	U	Th	Rt
101	682799	4185012	937	DACITAS (SIN MUESTRA)	21	40		2,67	13		0,8	0,8	3,1	7,5
163	665220	4180078	937	DACITA (FACIES FENOCRISTALES Q+HORN)	21	40	L	2,74	44					0,0
171	668333	4177763	937	DACITA (FACIES FENOCRISTALES Q)	21	40	L	2,48	38		0,9	0,8	10,9	11,9
172	668259	4177746	937	DACITA (HIDROTHERMALIZADA)	21	40	L	2,48	40		0,8	1,6	9,8	12,4
175	664456	4181104	937	DACITA (FACIES FENOCRISTALES Q)	21	40	L	2,74	54		1,7	1,8	6,5	14,9
179	669280	4178834	937	DACITA (FENOCRISTALES Q+PX)	21	40	L	2,80	50		1,5	0,8	6,6	12,5
184	681412	4178091	937	DACITA (ANDESITA ROCA HÍBRIDA)	21	40	L	2,86	68		1,4	2,0	9,9	15,1
189	682420	4178691	937	DACITA	21	40	L	2,82	18					
199	680610	4179296	937	DACITA	21	40	L	2,70	22					
200	680521	4179636	937	RIODACITA	21	40	L	2,68	18					
203	680401	4180175	937	DACITA (DEFORMADA Y ALTERADA)	21	40		2,73	18					
207	683447	4178985	937	DACITA (DEFORMADA Y ALTERADA)	21	40	L	2,80	28					
208	683537	4179046	937	DACITA (FACIES FENOCRISTALES Q)	21	40	L	2,76	12					
212	685409	4181228	937	DACITA (CON PX)	21	40	L	2,81	32					
213	685380	4181058	937	DACITA (FACIES FENOCRISTALES Q)	21	40	L	2,72	24					
225	676484	4179063	937	DACITA (FACIES FENOCRISTALES Q)	21	40	L	2,75	32		1,4	1,1	8,2	13,5
236	672850	4178457	937	DACITA (FACIES FENOCRISTALES Q)	21	40	L	2,74	32					
237	671152	4178354	937	DACITA (FACIES FENOCRISTALES Q Y HORN)	21	40		2,73	28		1,8	2,4	8,8	16,8
238	661639	4167719	959	DACITA	21	40	L	2,82	87					
240	665220	4167911	959	DACITA	21	40	L	2,74	65					
243	680646	4182970	937	DACITA	21	40	L	2,67	130					
247	689005	4185694	937	DACITA MILONITIZADA	21	40	L	2,76	66					
248	671306	4180215	937	DACITA	21	40	L	2,77	96		1,4	2,0	11,0	15,5
260	684420	4185452	937	DACITA	21	40	L	2,73	43		2,7	0,5	9,5	18,3
261	686578	4184298	937	DACITA (CON PX)	21	40	L	2,83	47					
262	685146	4184321	937	DACITA (FACIES FENOCRISTALES Q)	21	40	L	2,73	44					
519	673693	4181709	937	DACITA	21	40	L	2,76	16					0,0
527	661776	4180835	937	DACITA (ANDESITA)	21	40	L	2,81	40		0,7	1,3	8,9	11,4
528	660747	4181105	937	DACITA	21	40	L	2,72	16		1,1	1,7	6,5	11,8
529	662648	4182166	937	RIODACITA	21	40	L	2,69	18		0,6	1,1	8,0	9,5
1168	663250	4182600	937	DACITA	21	40		2,67	15					0,0
1171	658700	4181875	936	DACITA	21	40	L	2,77	12					0,0
1172	657650	4181300	936	DACITA (TONALITA PORFÍDICA)	21	40	L	2,63	30		1,3	2,0	9,4	14,0
1186	657225	4177600	936	DACITA	21	40	L	2,73	30		2,4	1,7	7,3	17,1
1191	652425	4171650	936	DACITA	21	40	L	2,57	30					0,0
1192	652450	4172050	936	DACITA DEFORMADA	21	40	L	2,63	27					0,0
1201	641325	4172325	936	DACITA ENCLAVE ANDESITICO	21	40	L	2,71	35					0,0
1203	641875	4173100	936	DACITA ANDESITA HÍBRIDA	21	40	L	2,81	97		1,4	1,1	7,9	13,4
1215	639343	4171957	936	DACITA CARBONATIZACION INTENSA	21	40	L	2,79	25					
1216	647269	4176409	936	DACITA-RIODACITA	21	40	L	2,70	20					
1218	646611	4172353	936	DACITA	21	40	L	2,84	28					
1220	647374	4171570	936	RIODACITA	21	40	L	2,70	18					
1221	647614	4171353	936	DACITA (MUJY DEFORMADA)	21	40	L	2,64	37					
1535	685465	4181381	937	DACITA	21	40		2,73	35		1,3	0,1	8,1	10,4
1549	673964	4182399	937	DACITA (CERCANA A LA JOYA)	21	40	L	2,86	30	0,12	1,2	1,4	6,4	11,5
1568	684538	4184609	937	DACITA	21	40		2,73	25					
1577	680806	4182295	937	DACITAS	21	40		2,72	41		1,6	1,2	4,9	12,3
1617	671063	4177486	937	DACITAS.SUBIDA VÉRTICE C. AND.	21	40	L	2,70	26	0,66	1,3	1,3	7,4	12,3
1618	671306	4177488	937	DACITA	21	40		2,66	23	1,74	2,4	1,0	10,1	18,3

1621	671939	4176853	937	DACITAS. VÉRTICE C. ANDEVALO	21	40	L	2,74	26	4,88	1,7	1,7	6,3	13,9
1623	672617	4177446	937	DACITAS. VÉRTICE C. ANDEVALO	21	40	L	2,83	34	0,34	1,3	0,7	3,9	9,3
1625	672032	4178206	937	DACITAS. VÉRTICE C. ANDEVALO	21	40	L	2,79	28	0,47	1,9	1,4	7,5	15,0
1626	670178	4177856	937	DACITA? medir de nuevo	21	40		2,64	32	0,68	4,4	2,0	6,9	25,6
1627	670113	4178236	937	DACITA	21	40		2,73	28		1,5	2,1	8,9	14,9
1629	669391	4178466	937	DACITA	21	40		2,79	26		1,1	0,7	7,0	10,1
1630	671380	4179675	937	DACITA	21	40		2,82	36	0,72	1,1	0,7	8,1	11,7
1631	676361	4182939	937	DACITAS (SERIE ANDESÍTICA)	21	40	L	2,65	25	0,19	1,6	1,7	5,3	13,2
1639	680340	4179597	937	DACITA - RIODACITA	21	40	L	2,74	31	0,30	2,8	3,1	10,3	22,4
1658	676518	4178940	937	ANDESITA-DACITA (SITIO FPLL-225)	21	40		2,75	30	0,53	1,2	0,9	7,3	11,0
1660	677000	4178956	937	DACITA	21	40	L	2,62	30		1,9	1,6	11,2	17,1
1664	678459	4182898	937	DACITA	21	40		2,74	36		1,6	1,0	5,6	12,0
1665	678565	4182329	937	DACITA	21	40		2,73	20					
1675	674754	4177886	937	DACITA	21	40		2,67	21					
1703	681546	4176484	937	DACITA	21	40	L	2,68	29	0,08	2,1	0,6	10,3	17,8
1705	685215	4179517	937	DACITA	21	40	L	2,65	46	0,05	1,3	1,9	12,2	15,6
1708	685384	4178797	937	ANDESITA - DACITA	21	40	L	2,65	25	0,02	2,0	0,9	4,8	13,3
1710	684071	4179329	937	DACITAS	21	40	L	2,74	27	0,08	1,8	4,7	9,6	19,5
1717	687030	4180812	937	ANDESITA	21	40	L	2,86	25	0,07	1,2	1,3	4,2	10,2
1720	684927	4182150	937	ANDESITA DACITA	21	40	L	2,69	20	0,11	1,7	1,2	10,9	15,5
1756	691885	4184884	938	DACITA	21	40	P	2,68	26	0,02	1,1	2,4	7,2	12,6
1766	662402	4177847	937	DACITA (PORFIDICA)	21	40	P	2,83	20	0,07	1,3	1,3	5,4	11,9
1773	668270	4181659	937	DACITAS - RIOLITAS	21	40	P	2,70	20	0,08	1,9	2,3	4,2	14,0
1827	657426	4181119	936	DACITA	21	40	P	2,70	30		1,1	1,4	8,2	11,7
1830	641868	4173107	936	DACITA	21	40	P	2,73	73	0,37	1,4	2,1	8,6	13,9
1831	641427	4172781	936	DACITA	21	40	P	2,85	135	0,38	1,4	1,4	6,8	12,3
1833	640979	4172491	936	DACITAS RIODACITAS	21	40	P	2,65	33		2,7	1,6	11,8	20,4
1847	688261	4185413	937	DACITA	21	40		2,77	56		1,4	1,1	9,7	13,6
1853	682041	4184837	937	AFLORAMIENTO DE DACITAS EN CAMINO	21	40	L	2,69	13		2,7	2,0	7,9	14,1
1856	682140	4184836	937	DACITAS	21	40	L	2,58	16		2,0	1,7	11,6	12,2
1861	682462	4185677	937	DACITA: sericit. Plagioclas. Sin potasifi. Hidrotermal	21	40	L	2,64	93		2,6	1,8	10,0	19,1
1864	682491	4185374	937	DACITA (And- Ti?)	21	40		2,52	60		4,8	2,6	9,3	29,0
1865	682498	4185298	937	DACITA: fk en matriz y sericit. Plagioclas. Sin brechifi.	21	40	L	2,71	9		3,2	3,2	8,8	24,0
1868	682631	4184976	937	DACITAS SIN MUESTRA	21	40		2,68	24		1,0	1,1	5,2	10,5
1874	682639	4184757	937	DACITAS SIN MUESTRA	21	40		2,73	26		0,4	2,1	6,2	8,6
1881	682892	4185152	937	DACITA	21	40		2,63	52		0,4	1,4	3,3	6,5
1882	682988	4185159	937	DACITAS	21	40		2,71	45		0,7	0,3	3,9	6,9
1888	683087	4185167	937	DACITAS AFLORAMIENTO	21	40		2,47	42		0,9	0,8	5,3	8,3
1891	683140	4185686	937	DACITAS BRECHIFICADAS	21	40	L	2,65	28		7,6	2,3	7,1	39,3
1892	683138	4185712	937	DACITAS BRECHIFICADAS y Potasificada	21	40		2,64	26		2,6	1,1	9,5	18,1
1906	683434	4185786	937	DACITA	21	40		2,69	75		2,5	2,2	6,7	16,7
1907	683439	4185701	937	MUESTRA PETROGRAFIA	21	40		2,76	53		1,7	2,9	9,0	15,2
1912	683622	4185910	937	AFLORAMIENTO DE DACITAS	21	40		2,73	26		0,9	3	8,5	13,4
1918	683745	4185462	937	PEQUEÑO RODADO BOLO SUELTO	21	40		2,72	314		1,4	1,6	3,5	12
1923	683686	4186127	937	DACITAS O EPICLASTITAS (PLACA SUELO)	21	40		2,70	45		2,2	1,9	10,9	18,6
1924	683684	4186137	937	MUESTRA PETROGRAFICA DACITA	21	40		2,70	52		2,0	1,9	7,3	15,5
1925	683330	4185896	937	BOLOS DACITA	21	40		2,70	27		1,2	3,2	9,2	14,4
1947	667850	4181500	937	DACITA. Zrisco	21	40	P	2,7	30	0,22				
71	652397	4171829	936	RIOLITA MILONITIZADA	23	40	L	2,57	4		4,0	3,1	13,1	28,8
72	652425	4171813	936	RIOLITA MILONITIZADA	23	40	L	2,43	4		4,4	2,4	16,9	31,0
161	688380	4171045	959	VIDRIO RIOLÍTICO ALCALINO	23	40	L	2,59	30					
176	668241	4177070	937	RIOLITA	23	40	L	2,68	44		4,7	2,8	9,4	28,7

180	669263	4180183	937	RIOLITA (CON POTASIFICACION)	23	40	L	2,61	32		4,2	3,3	9,5	28,4
181	669282	4181626	937	RIOLITA	23	40	L	2,57	40		2,0	2,5	5,2	14,9
195	680995	4179061	937	RIOLITA (SILICIFICADA)	23	40	L	2,60	24					
197	680955	4179076	937	RIOLITA SODIFICADA	23	40	L	2,66	12					
209	683649	4179216	937	RIOLITA	23	40	L	2,60	74					
218	677133	4177900	937	RIOLITA	23	40	L	2,70	26		3,0	3,9	19,6	28,4
234	672938	4178322	937	VIDRIO ÁCIDO DESVITRIFICADO	23	40		2,71	54					
235	673032	4178396	937	VIDRIO ÁCIDO DESVI.-POTASIFICADO	23	40		2,57	8					
242	679259	4185259	937	RIOLITA DESVITRIFICADA	23	40	L	2,60	124		3,7	4,2	21,0	35,0
249	687274	4184261	937	RIOLITA	23	40	L	2,59	81					
254	685490	4185812	937	RIOLITA POTASIFICADA	23	40	L	2,62	972	0,43				
259	684303	4185299	937	RIOLITA MILONITIZADA	23	40		2,65	34		1,9	1,8	6,6	14,7
498	685287	4176696	937	RIOLITA	23	40	L	2,67	23		1,5	3,0	9,8	16,2
513	681581	4185676	937	RIOLITA	23	40	L	2,53	3		2,4	1,8	12,4	20,3
523	667690	4177090	937	RIOLITA (POTASIF PLAGIOCLASAS)	23	40	L	2,66	102		4,1	2,0	13,1	26,7
530	667185	4179529	937	RIOLITA	23	40	L	2,70	25					
1183	655100	4179650	936	RIOLITA	23	40	L	2,66	32		2,1	1,5	9,0	17,7
1193	651925	4173150	936	RIOLITA	23	40	L	2,69	73		2,8	3,0	12,3	23,0
1198	641300	4171125	936	RIOLITA	23	40	L	2,69	10		3,5	3,0	16,7	28,3
1199	641305	4171130	936	RIOLITA	23	40	L	2,65	41		3,1	3,0	13,0	25,1
1200	641250	4171375	936	RIOLITA POTASIFICADA	23	40	L	2,66	16		4,8	2,7	11,9	29,9
1202	641575	4172850	936	RIOLITA	23	40	L	2,58	53		3,3	2,2	13,5	25,1
1206	637600	4174150	936	RIOLITA	23	40	L	2,56	58					
1207	637550	4173000	936	RIOLITA	23	40	L	2,62	33					
1208	639356	4171845	936	RIOLITA	23	40	L	2,66	34					
1210	639043	4171738	936	RIOLITA (PÓRFIDO)	23	40	L	2,60	32					
1211	638981	4171673	936	RIOLITA (PÓRFIDO)	23	40	L	2,64	4					
1212	638981	4171674	936	RIOLITA (PÓRFIDO)	23	40	L	2,61	16					
1213	638982	4171676	936	RIOLITA (PÓRFIDO)	23	40	L	2,57	57					
1214	639043	4171741	936	RIOLITA (PÓRFIDO)	23	40	L	2,75	41					
1219	646712	4172070	936	RIOLITA POTASIFICADA	23	40	L	2,62	31					
1244	688786	4183944	937	RIOLITA	23	40		2,64	354					
1497	685653	4185805	937	RIOLITA (FPLL-254)	23	40		2,73	756		2,1	0,4	3,5	13,6
1511	679995	4185142	937	RIOLITAS BRECHIFICADAS	23	40		2,47	37		3,3	2,2	13,0	25,2
1545	684428	4186054	937	DACITAS	23	40		2,70	35		2,5	1,2	6,8	17,1
1546	684059	4186054	937	RIOLITAS	23	40		2,60	29	0,17				
1547	683946	4186010	937	RIOLITAS	23	40	L	2,61	711	0,59	2,0	1,5	8,1	15,9
1554	681639	4184866	937	RIOLITA (En ep. Ácidas - Oeste perfil 1)	23	40	L	2,50	24	0,30	4,7	0,8	8,2	27,0
1558	682225	4184929	937	RIOLITAS. Cercana a 1855 en P3	23	40	L	2,74	12	0,01				
1563	684038	4183789	937	RIOLITAS ¿JASPES NEGROS?	23	40	L	2,67	1202	0,26				
1573	679595	4184901	937	RIOLIT. BRECHIFICADAS.Sericitación	23	40	L	2,52	26	0,02	3,9	4,1	22,9	33,9
1616	668158	4176849	937	RIOLITA	23	40	L	2,70	650	1,05	4,0	1,4	10,1	25,4
1640	679817	4179519	937	RIOLITA	23	40	L	2,63	16	0,27	5,5	1,3	14,3	33,4
1652	678367	4177797	937	RIOLITA (POTASIO ALTO)	23	40	L	2,44	18	0,29	8,1	2,0	9,6	41,5
1676	675798	4177553	937	RIOLITA. Matriz potasificada. Próx. a falla	23	40	L	2,71	1404	1,95	3,1	5,3	17,9	30,8
1711	684850	4178639	937	RIO. NEGRAS MASIVAS (SUELTAS)	23	40	L	2,61	895	1,25				0,0
1713	684707	4178759	937	R. NEGRAS MASIVAS.Hidrotermalizada	23	40	L	2,54	606	0,99	4,6	0,3	8,3	25,2
1715	683798	4179600	937	RIOLITA NEGRA MASIVA (SUELTA)	23	40		2,54	611		3,0	3,0	16,1	25,1
1719	685360	4182242	937	RIO. POTASIFICADA.MILONITIZADA	23	40	L	2,49	16	13,74	6,3	1,8	15,2	37,8
1734	680086	4176068	937	RIOLITA MASIVA OSCURA	23	40	L	2,68	603	1,50				
1742	664514	4177001	937	RIOLITA SÓDICA	23	40	L	2,53	16	0,01	1,4	1,6	14,9	14,8
1745	659679	4175013	936	RIOLITA	23	40	P	2,61	18	0,02	2,8	0,0	11,3	18,6

1748	695703	4184582	938	RIOLITA - DACITA	23	40	P	2,56	16	0,25	5,0	1,8	11,8	31,2
1750	696267	4185180	938	Sill bas? RIOLITA MASIVA por U y Th	23	40	P	2,60	1413	1,94	1,7	3,6	16,1	22,7
1804	657605	4174550	936	RIOLITA MASIVA	23	40	P	2,63	260					0,0
1824	658024	4172937	936	RIOLITA	23	40	P	2,63	17		2,7	3,6	11,4	22,7
1825	657339	4173743	936	RIOLITA	23	40	P	2,62	14		3,2	2,3	13,1	23,6
1828	642195	4173806	936	RIOLITA	23	40	P	2,63	34	0,24	6,7	3,2	10,6	39,0
1829	642080	4173549	936	RIOLITA	23	40	P	2,58	30		3,5	2,7	12,7	26,0
1832	641516	4172811	936	RIOLITA	23	40	P	2,58	31		4,6	3,1	12,3	30,1
1834	641248	4171376	936	RIOLITA	23	40	P	2,32	7		3,8	1,5	13,0	24,9
1843	688077	4185335	937	RIODACITA	23	40		2,60	15		4,8	1,6	15,2	32,0
1848	688632	4185530	937	RIODACITA	23	40		2,61	22		2,2	1,0	9,2	16,4
1855	682137	4184870	937	RIOLITAS (matriz potasificada)	23	40	L	2,41	12		6,2	4,1	5,8	26,2
1862	682482	4185464	937	RIOLITA morada: sódica, alb en fenocr., Q en mat. fl.	23	40	L	2,76	112		0,9	1,2	7,6	11,2
1908	683455	4185484	937	RIOLITA	23	40		2,60	45		2,1	1,6	8,2	16,9
1919	683725	4185694	937	RIOLITAS VERDES. BOLO MEDIANO	23	40		2,63	12		4,7	3,2	7,3	28,8
1920	683721	4185746	937	RIOLITAS NEGRAS BOLO PEQUEÑO (CERRO)	23	40		2,60	776		3,8	1,3	12,5	24,1
1922	683732	4185900	937	RIOLITAS NEGRAS PLACA	23	40		2,61	779		6,4	0,7	15,1	37,3
1926	683310	4186111	937	BOLO MEDIANO RIOLITA	23	40		2,66	273		1,8	1,6	8,8	15,2
1927	683336	4186141	937	RIOLITAS NEGRAS	23	40		2,56	958		2,6	1,3	6,9	18,3
1929	683212	4186189	937	BOLO PEQUEÑO R. NEGRA	23	40		2,53	261		1,2	1,9	12,1	14,8
1958	685683	4183864	937	RIOLITAS NEGRAS. Bolos. Zmaj	23	40	P	2,54	2857		3,2	2,3	5,7	19,8
1960	685776	4183860	937	RIOLITAS NEGRAS. Zmaj	23	40	P	2,57	1560		3,3	1,9	9,9	22,9
65	654162	4165316	958	CINERITA	33	40	L	2,60	26					
91	682674	4185332	937	EPICLASTITAS BRECHIFICADAS	33	40		2,61	24		7,4	3,2	9,9	42,0
108	665583	4165021	958	TOBA (IGNIMBRITA)	33	40	L	2,64	22					
183	681357	4178282	937	TOBA RIOLÍTICA	33	40	L	2,59	42		2,9	2,2	14,2	23,8
190	681243	4178545	937	TOBA POTASIFICADA Y RETRAJADA	33	40	L	2,63	16					
192	681187	4178809	937	TOBA RIOLÍTICA	33	40	L	2,63	14					
196	680965	4179075	937	TOBA RIOLITICA	33	40	L	2,64	22					
217	677561	4178071	937	TOBA RIOLÍTICA	33	40	L	2,66	20		3,5	2,5	15,5	26,2
220	676956	4178104	937	TOBA RIOLÍTICA	33	40	L	2,58	18		1,1	3,7	17,1	19,7
226	680536	4178350	937	TOBA RIOL. (ULTRAPOT. K2O=8.3%)	33	40	L	2,62	34		8,0	3,1	15,1	29,7
229	673221	4176604	937	TOBA RIOLÍTICA MILONITIZADA	33	40	L	2,56	30					
241	679220	4185359	937	TOBA RIOLÍTICA DESVITRIFICADA	33	40	L	2,60	350	0,73				
493	683192	4178078	937	TOBA RIOL. (CON MATRIZ SERCITA ORIENTADA)	33	40	L	2,61	38		2,5	2,5	13,8	22,1
496	684940	4177232	937	TOBA RIOLITICA (DESVITRIFI.)	33	40	L	2,53	2		3,3	2,6	19,1	27,9
497	685150	4176967	937	TOBA RIOLITICA	33	40	L	2,60	3		1,5	1,6	9,7	15,4
499	685287	4176696	937	TOBA RIOLITICA	33	40	L	2,68	19					0,0
500	685547	4176245	937	TOBA RIOL. (CON MATRIZ SERCITA ORIENTADA)	33	40	L	2,51	7		2,3	1,5	19,9	22,2
505	684203	4171178	937	TOBA RIOLÍTICA APIZARRADA	33	40	L	2,63	30		4,2	3,7	10,9	28,1
512	682423	4186027	937	TOBA RIOLÍTICA	33	40	L	2,62	39					0,0
514	680660	4185332	937	TOBA RIOLÍTICA	33	40	L	2,54	24		4,4	3,2	20,8	34,4
524	667336	4177260	937	TOBA RIOLÍTICA (MATRIZ SERICITADA)	33	40	L	2,63	16		2,7	0,9	16,0	22,7
1105	688920	4183760	937	TOBA RIOLITICA	33	40	L	2,60	476					
1106	688930	4183790	937	toba riolítica (DEP. IGNIMBRITICO)	33	40	L	2,63	480					
1222	649615	4171323	936	TOBA RIOLITICA ESQUÍSTOSADA	33	40	L	2,53	26					
1498	679223	4185340	937	TOBA RIOLÍTICA (FPLL-241)	33	40		2,60	350		2,0	3,7	14,4	21,7
1512	679995	4185159	937	TOBAS EPICLAS. AC. (MAL SITIO)	33	40	L	2,41	14	0,23				
1513	680299	4185629	937	TOBAS EPICLASTICAS ACIDAS	33	40		2,54	19		3,0	2,7	19,9	26,2
1516	680955	4186000	937	TOBA ÁCIDA	33	40	L	2,60	33	1,23	1,6	2,3	9,5	14,3
1539	688400	4185800	937	TOBAS RIOLITICAS EPICLASTICAS	33	40		2,53	14		2,4	2,3	14,4	21,6
1543	686989	4185288	937	TOBAS RIOLITICAS EPICLASTICAS	33	40		2,54	16					

1550	682062	4185608	937	TOBAS EPICLASTICAS ACIDAS	33	40	2,56	32		1,3	1,1	9,8	12,7
1550	682085	4185597	937	ABUNDANTES BLOQUES DE EPICLASTITAS	33	40	2,66	23		1,3	1,1	1,8	5,2
1557	682036	4184869	937	TOBAS EPICLASTICAS ACIDAS	33	40	2,51	13		2,8	2,3	12,8	21,7
1561	680904	4185021	937	TOBAS EPI. ACIDAS. Pot. Plagioclasas	33	40	L 2,54	9	0,09	3,0	2,9	12,5	24,1
1566	683450	4184210	937	TOBAS EPICLASTICAS ACIDAS	33	40	2,60	17		2,1	1,1	12,5	18,4
1571	684840	4184806	937	TOBAS EPICLASTICAS ACIDAS	33	40	2,60	27					
1587	681271	4178003	937	TOBAS EPICLASTICAS ACIDAS	33	40	L 2,50	45	0,04	2,1	1,9	13,1	18,8
1606	667543	4177294	937	TOBA RIOLITICA	33	40	2,50	3		2,5	1,7	12,9	21,8
1653	678514	4178036	937	TOBA EPICLASTICA	33	40	2,52	7		2,3	2,0	9,7	17,8
1656	677492	4177935	937	TOBA ACIDA EPICLASTICA	33	40	L 2,58	17		2,1	2,8	13,9	21,2
1657	677132	4177934	937	TOBA?	33	40	L 2,48	104		2,5	3,0	15,5	26,0
1671	675389	4178748	937	TOBAS ACIDAS EPICLASTICAS	33	40	L 2,52	21		2,8	2,3	11,6	21,4
1682	684995	4177176	937	TOBA RIOLITICA	33	40	P 2,52	12	2,11	2,1	4,0	17,2	23,2
1690	684235	4176260	937	TOBAS ACIDAS EPI. MILONITIZADA	33	40	P 2,45	13	0,06	3,0	2,0	10,8	22,6
1691	683573	4176377	937	TOBAS ACIDAS EPICLASTICAS	33	40	2,60	22		3,0	1,0	11,1	21,5
1692	683454	4176706	937	TOBAS ACIDAS EPICLASTICAS	33	40	2,53	22		2,2	2,2	11,6	19,2
1698	681447	4176524	937	TOBAS ACIDAS EPICLASTICAS	33	40	2,57	16		1,5	2,2	15,8	18,4
1699	681301	4176133	937	TOBAS ACIDAS (CON JASPES INT.)	33	40	P 2,54	12	0,70	1,4	2,1	12,1	17,2
1700	681179	4175878	937	TOBAS ACIDAS. MILONITIZADA	33	40	P 2,60	20	0,05	2,4	2,5	13,3	19,4
1709	683798	4179262	937	TOBAS RIOLITICAS	33	40	2,54	17		3,0	1,4	15,0	24,0
1721	684927	4182162	937	TOBA RIOLITICA	33	40	2,53	16	5,47	6,5	2,2	9,1	36,2
1730	684130	4171370	937	TOBA	33	40	2,60	8	0,57	2,4	4,2	14,6	24,1
1731	679185	4176294	937	TOBA ACIDA EPICLASTICA	33	40	2,50	15		2,4	1,5	11,2	18,4
1733	679163	4175909	937	TOBAS ACIDAS EPICLASTICAS	33	40	2,59	18	0,45	3,2	2,0	11,9	23,6
1753	696490	4184717	938	TOBAS ACIDAS EPICLASTICAS	33	40	P 2,10	26	0,14				0,0
1761	690711	4183709	938	TOBA ACIDA RIOLITICA EPICLAST.	33	40	P 2,40	41	0,13	2,8	2,4	15,0	24,3
1812	657906	4174558	936	TOBA ACIDA	33	40	P 2,53	52	0,26	1,5	1,7	12,0	15,8
1835	653778	4171756	936	TOBAS EPICLASTICAS RIOLITICAS	33	40	P 2,40	25	0,29	2,1	2,9	18,3	23,6
1836	653394	4171662	936	TOBAS RIOLITICAS VULCAN. ACIDO	33	40	P 2,44	17	0,32	1,5	3,4	7,7	15,9
1837	653827	4171481	936	TOBAS RIOLITICAS VULCAN. ACIDO	33	40	P 2,22	23		3,5	1,9	12,9	26,1
1839	652964	4172664	936	DACITA O TOBA DACITICA	33	40	P 2,57	28	0,33	2,5	1,6	8,7	18,7
1842	687670	4185143	937	TOBA ACIDA (RIOLITICA EPICLAST.)	33	40	2,54	9		2,1	1,5	9,2	17,2
1846	688211	4185358	937	TOBA ACIDA	33	40	2,61	8		4,0	2,1	13,6	27,3
1867	682553	4184717	937	TOBAS EPICLASTICAS	33	40	2,62	16		2,7	1,6	6,8	16,7
1876	682668	4185420	937	EPICLASTITAS BRECHI: ZONA FALLA, Q y fk hidroter.	33	40	L 2,50	21		5,2	0,9	7,7	26,6
1877	682673	4185355	937	EPICLASTITAS BRECHI: ultramilonita, ultrapotasifi.	33	40	L 2,47	10		8,3	0,3	8,2	41,7
1879	682860	4185430	937	EPICLASTITAS BRECHIFICADAS, junto escombr. F.C.	33	40	L 2,39	6		4,3	1,6	10,2	26,6
1880	682882	4185265	937	EPICLASTITAS BRECHIFICADAS	33	40	2,60	35		2,3	1,0	12,2	18,6
1883	682977	4185308	937	EPICLASTITAS TECTONIZADAS	33	40	2,58	39		3,0	2,3	13,3	23,1
1884	682971	4185383	937	ALGO MORADA. Cizalla - HIDROTERMALITA	33	40	L 2,63	103		9,9	2,9	16,5	54,9
1885	683036	4185813	937	EPICLASTITAS	33	40	2,73	15		2,0	2,1	12,6	19,4
1886	683068	4185361	937	EPICLASTITAS BRECHIFICADAS	33	40	2,63	37		4,3	1,4	9,5	26,9
1887	683077	4185269	937	EPICLASTITAS AFLORAMIENTO	33	40	2,70	32		2,7	3,1	11,0	20,7
1889	683185	4185186	937	EPICLASTITAS CONTACTO CON DACITAS	33	40	2,54	24		1,9	3,1	10,0	29,2
1890	683172	4185354	937	EPICLASTITAS AFLORAMIENTO	33	40	2,63	21		2,7	2,8	11,8	21,9
1893	683285	4185182	937	EPICLASTITAS BRECHIFICADA	33	40	2,58	33		5,5	1,6	15,9	34,5
1897	683306	4184936	937	Epiclastitas	33	40	2,63	14		3,9	1,3	3,8	21,4
1899	683385	4185165	937	ZONA CIZALLA MILONITA (CONTROL) S.MSTRA	33	40	2,58	18		3,4	2,3	12,3	24,7
1900	683379	4185238	937	CIZALLA	33	40	2,41	13		6,7	2,5	11,1	38,2
1909	683588	4185009	937	EPICLASTITAS	33	40	2,60	23		0,9	2,5	5,6	12,2
1911	683580	4185110	937	AFLORAMIENTO POTASIFICADO CIZALLA	33	40	2,53	7		6,3	3,6	12,0	38,8
1914	683666	4185185	937	AFLORAMIENTO DE EPICLASTITAS	33	40	2,54	9		5,2	2,4	11,8	31,7

1915	683668	4185134	937	AFLORAMIENTO DE EPICLASTITAS	33	40	2,61	5	6,1	2,7	13,6	39,4	
1917	683780	4185123	937	PLACA SUELO	33	40	2,52	7	4,9	4,1	11,4	34,1	
1921	683712	4185849	937	EPICLASTITAS PLACA EN SUELO (ARROYO)	33	40	2,52	27	2,3	3,6	13,9	23,6	
1928	683301	4186235	937	PLACA SUELO EPICLASTITAS	33	40	2,59	26	2,2	2,1	8,4	19	
1953	685679	4183725	937	EP. DEFORM. MEDIDA AL SUELO. ZMAJ	33	40	2,5	26	3,9	1,2	12,2	26,4	
1954	685805	4183531	937	EP. PIZARROSA. MEDIDA CAMINO. ZMAJ	33	40	2,5	22	2,8	5,3	13,9	26,2	
1955	685803	4183556	937	EP. PIZARROSA. MEDIDA LOSA. ZMAJ	33	40	2,6	18	2,9	5,6	13,1	27,7	
1959	685790	4183775	937	TOBAS. ZMAJ	33	40	P 2,55	4	5,1	2,5	10,8	30,4	
23	678182	4167643	959	TOBAS INTERMEDIAS	34	40	L 2,72	12					
31	682155	4184648	937	ROCA POTASIFICADA. AFLOR. (BASICAS)	34	40	2,71	358	6,8	1,8	8,7	27,0	
170	656889	4166654	958	TOBA-CINERITA	34	40	L 2,74	44					
210	683717	4179284	937	BRECHA O AGLOMERADO DACÍTICO	34	40	L 2,76	34					
531	666326	4180945	937	TOBA TRAQUIBASÁLTICA	34	40	L 2,82	21	2,7	0,0	7,9	16,6	
533	666317	4181530	937	TOBA DACÍTICO-ANDESÍTICA	34	40	L 2,75	45	1,3	1,0	6,2	10,4	
1176	655900	4181200	936	TOBA DACIT.-ANDESIT.	34	40	L 2,69	34				0,0	
1514	680955	4186022	937	TOBAS EPICLASTICAS ¿ANDES.?	34	40	2,56	25	1,6	1,7	8,6	14,4	
1588	681236	4178579	937	T. I. POTASIFICACIONES	34	40	L 2,80	48	0,14	2,9	0,3	10,7	19,7
1594	669191	4181066	937	TOBA AND. SERICIT. (BOLOS AF. GRANDE)	34	40	L 2,78	28	0,39	1,5	1,0	9,8	14,2
1659	677030	4177915	937	TOBA EPICLASTICA ACIDA	34	40	2,69	10	0,8	2,8	7,8	13,0	
1668	674555	4176487	937	TOBAS EPICLASTICAS	34	40	2,70	9	1,1	2,0	8,9	14,3	
1735	680505	4176162	937	TOBAS EPICLASTICAS	34	40	2,69	14	0,7	1,2	10,6	11,0	
1809	657224	4174432	936	TOBA	34	40	P 2,63	23	1,9	1,8	8,9	16,4	
1850	681946	4184714	937	BRECHA ANDESÍTICA - MILONITIZADA	34	40	L 2,58	571	7,2	1,2	7,6	26,5	
1851	682049	4184726	937	BRECHA ANDESÍTICA - MILONITIZADA	34	40	L 2,54	257	4,5	0,6	6,6	17,0	
1852	682055	4184665	937	BRECHA ANDESÍTICA - MILONITIZADA	34	40	L 2,69	543	4,2	0,8	6,7	16,6	
1857	682151	4184699	937	BRECHA ANDESÍTICA - MILONITIZADA	34	40	L 2,72	426	3,4	1,5	6,8	14,0	
1858	682250	4184736	937	BRECHA ANDESÍTICA - MILONITIZADA	34	40	L 2,62	460	7,0	2,3	6,8	26,0	
1859	682243	4184818	937	Brecha andesítica milonitizada: MORADA POTASIF.	34	40	L 2,75	791	9,3	1,6	6,5	34,5	
1866	682536	4184894	937	BRECHA INTERMEDIA	34	40	L 2,78	27	0,5	1,1	9,6	9,6	
1869	682591	4185372	937	BRECHA INTERMEDIA	34	40	2,75	15	5,5	2,3	8,8	35,3	
1870	682589	4185397	937	BRECHA INTERMEDIA	34	40	2,69	66	6,9	1,7	14,8	40,7	
1871	682554	4184621	937	BRECHA INTERMEDIA: SIN MUESTRA	34	40	2,71	22	2,3	2,1	9,1	18,1	
1872	682551	4184598	937	BRECHA INTERMEDIA: SIN MUESTRA	34	40	2,58	34	0,9	0,7	7,5	9,9	
1873	682549	4184575	937	BRECHA INTERMEDIA, No Potasificada	34	40	L 2,70	75	1,3	0,8	8,2	12,1	
1875	682580	4184745	937	BRECHA INTERMEDIA, No Potasificada	34	40	L 2,92	37	0,2	1,9	5,9	8,4	
1894	682302	4184730	937	BRECHAS INTERMEDIAS - Milon.-Potas.	34	40	L 2,59	152	3,2	1,0	6,1	19,3	
1895	682352	4184725	937	BRECHAS INTERMEDIAS - Milon.- SIN Potas.	34	40	L 2,80	514	1,6	0,6	7,3	12,8	
1896	682332	4184765	937	BRECHAS INTERMEDIAS - Milon.-Potas.	34	40	L 2,78	349	6,6	1,7	5,6	33,3	
1683	685326	4176520	937	AGLOMERADO VOLCANICO	35	40	L 2,51	12	0,12	2,6	1,4	16,2	22,4
1684	685423	4176296	937	AGLOMERADO VOLCANICO	35	40	2,56	13	2,3	2,1	16,2	21,6	
1695	682860	4176882	937	AGLOMERADO VOLCANICO	35	40	P 2,60	17	0,08	1,6	1,2	26,1	23,6
1696	682800	4176861	937	AGLOMERADO VOLCANICO	35	40	2,58	10	1,5	1,0	18,9	18,9	
1702	680560	4175759	937	AGLOMERADO VOLCANICO	35	40	L 2,37	8	0,06	0,7	2,3	22,5	18,2
1704	682146	4176516	937	Aglomerado (MATRIZ ANDESÍTICA)	35	40	2,53	16	2,6	2,7	8,3	19,6	
1722	685285	4176617	937	AGLOMERADO VOLCANICO	35	40	2,56	16	2,2	3,0	14,2	20,7	

7.2.3. ARENISCAS Y ROCAS METAMÓRFICAS

N	X	Y	H	LITOLOGIA	Cd	Un	L	Dap	Sus	Q	K	U	Th	Rt
1495	673440	4185250	937	(AR+GW)(PIZARRAS NEGRAS: 1502)	71	20		2,53	27		0,8	3,3	11,3	20,0
1501	673030	4186154	937	PIZARRAS (AR+GW)	71	20		2,38	32		0,7	3,2	9,5	13,3
1503	673906	4184931	937	(AR+GW). (PIZARRAS GRISES)	71	20		2,55	26		1,3	1,0	14,0	22,2
1506	676123	4187014	937	PIZARRAS GRISES Y ARE.	71	20		2,59	8		1,1	2,7	9,0	14,1
194	681140	4179172	937	CUARZO-VACA (CHERT)	71	40	L	2,53	18					
216	678396	4177467	937	ARENISCA	71	40	L	2,65	24					0,0
231	673045	4177151	937	ARENISCA	71	40	L	2,60	32					
232	673196	4177193	937	ARENISCA	71	40	L	2,76	22					
244	680164	4183904	937	ARENISCA	71	40	L	2,41	49					
491	688316	4186856	937	ARENISCA	71	40	L	2,65	34					
534	665693	4182201	937	ARENISCA (ALTERN. CON PIZARRAS)	71	40	L	2,36	17		1,8	2,2	9,5	16,4
1209	639356	4171846	936	ARENISCA (CON PASADAS PIZARRAS)	71	40	L	2,67	19					
1574	680452	4184306	937	ARENISCAS (CUARZOARENISCAS)	71	40		2,57	22	0,29				
1602	676349	4184627	937	ARENISCA FELDESPATICA	71	40		2,60	24	0,32				0,0
1651	668146	4176754	937	ARE. FERRUG. OXIDADA. TECHO CVS	71	40	L	2,67	46		0,5	0,6	8,7	8,8
1674	675411	4178283	937	SERICITIZADA	71	40	L	2,54	10	0,26	2,2	1,9	10,9	19,3
1942	667000	4181700	937	C.V.S. ARENISCA. ZRISCO	71	40	P	2,5	22					
1190	652825	4170425	936	ARENISCA	71	60	L	2,59	54					
1747	695932	4185908	938	GRAUVACAS: VER MICROSCOPIO	72	30	P	2,59	26	0,04	4,8	3,8	16,6	33,0
75	648017	4176106	936	GRAUVACA (INICIO BIOTITA)	72	40	L	2,56	8					0,0
94	641331	4165431	958	GRAUVACA	72	40	L	2,58	10					
193	681218	4179205	937	GRAUVACA	72	40	L	2,70	34					
223	676598	4178669	937	AR+GW (PZ)	72	40	L	2,67	18		3,4	1,8	6,8	22,0
631	688530	4167852	959	GRAUVACA (EPICLASTICA)	72	40		2,66	17					
890	670718	4170136	959	GRAUVACA	72	40		2,61	38					
912	666397	4170035	959	GRAUVACA	72	40		2,54	26					
1217	646796	4172479	936	GRAUVACA	72	40	L	2,63	13					
1628	669744	4178039	937	GRAUVACA. TECHO CVS	72	40	L	2,53	16		1,3	1,9	11,4	15,8
1763	664350	4178144	937	GRAUVACA	72	40	P	2,46	10	1,27	3,4	2,4	14,1	27,1
1780	661567	4183726	937	GRAUVACA (VOLCANO-SEDIMEN.)	72	40	P	2,33	19		2,2	2,8	11,8	20,3
1799	656493	4176111	936	GRAUVACA	72	40	P	2,54	13		2,5	2,5	11,8	22,0
1945	666505	4181888	937	GRAUVACA C.V.S. ZRISCO	72	40	P	2,5	19					
67	652855	4169520	958	GRAUVACA	72	60	L	2,68	18					
68	652885	4169811	958	GRAUVACA (GW+PZ)	72	60	L	2,37	8					
495	684503	4177374	937	GRAUVACA	72	60	L	2,63	12		2,3	1,6	9,8	18,9
515	678237	4184900	937	GRAUVACA- 40?	72	60	L	2,52	1		1,9	1,8	15,1	20,2
516	678237	4184900	937	GRAUVACA- 40?	72	60	L	2,39	15		2,6	3,0	15,1	22,7
517	676269	4183667	937	GRAUVACA- 40?	72	60	L	2,46	3					0,0
526	663575	4183336	937	GRAUVACA	72	60	L	2,48	28					0,0
913	666061	4169548	959	GRAUVACA	72	60		2,63	30					
1194	651950	4173425	936	GRAUVACA	72	60	L	2,51	33					0,0
1195	650450	4174425	936	GRAUVACA ¿GAFO?	72	60	L	2,52	34		3,6	2,4	17,1	29,7
1197	646820	4177445	936	GRAUVACA ¿GAFO?	72	60	L	2,61	30		2,5	2,3	15,4	23,6
1204	642700	4174875	936	GRAUVACA CULM	72	60	L	2,52	4		1,5	2,7	9,3	16,4
1205	644350	4176575	936	GRAUVACA ¿GAFO?	72	60	L	2,68	21		1,5	2,8	10,8	17,2
1738	661136	4172341	937	PIZARRAS Y GRAUWACAS. CULM	72	60	L	2,49	22	0,02	2,8	3,6	13,3	24,5
1775	670457	4173092	937	GRAUVACA (VOLCANO-SEDIMEN)	72	60	P	2,39	29	0,01				0,0
1821	655441	4183725	936	GRAUVACA (CULM)	72	60	P	2,61	12	0,38	3,0	4,2	19,7	29,2
1943	666821	4182515	937	GRAUVACA CULM. Zrisco	72	60	P	2,5	16	0,40				

1944	666509	4182205	937	CONTACTO CULM-CVS. Zrisco	72	60	P	2,5	27	0,42				
10	681932	4184928	937	JASPE	73	40		2,97	2472		0,2	1,0	2,1	4,2
21	682007	4185255	937	JASPES	73	40		2,80	3712		0,1	0,6	1,0	4,3
41	682232	4184962	937	AFLORAMIENTO DE JASPES	73	40		2,97	85		0,2	0,9	0,5	2,0
522	667916	4177213	937	jaspe	73	40	L	2,80	589		1,0	0,4	4,7	8,8
1541	687546	4186325	937	JASPE ROJO	73	40	L	2,75	8259	22,74	0,1	0,2	0,1	1,6
1552	681976	4185314	937	JASPE ROJO (ROCAS SUELTAS)	73	40	L	2,80	5108	3,23				
1553	681941	4185251	937	JASPE ROJO	73	40		2,91	4307		0,1	0,8	1,5	3,6
1570	684825	4183876	937	JASPE ROJO CON HEMATITES	73	40	L	2,83	23	4,11				0,0
1648	677574	4181177	937	JASPE MINERALIZADO	73	40	L	2,64	6003					
1654	678483	4178297	937	JASPE ROJO (SOC. MINA MANGAN)	73	40	L	2,86	101		0,2	0,5	0,6	2,9
1670	675127	4177419	937	JASPE ROJO.MINA DE MANGANESO	73	40	L	2,99	203					
1677	676154	4177910	937	JASPE ROJO (SUELTAS)	73	40	P	2,59	109	20,21	0,4	0,3	3,9	6,1
1678	676222	4177983	937	JASPE ROJO	73	40	L	2,78	4009	0,57				
1796	658770	4172891	936	TOBA Y JASPES (ESCOBRERAS)	73	40	L	2,99	1904					0,0
1806	657196	4174425	936	JASPE ROJO	73	40	P	2,78	3402		0,7	1,1	3,3	7,3
1838	652452	4172028	936	Jaspe mineralizado en tobas riolíticas	73	40	P	2,80	8536	0,66	1,1	2,3	10,0	14,3
1898	683398	4185019	937	JASPES AFLORANDO	73	40		2,76	109		2,4	2,6	12,0	19,1
1910	683622	4185024	937	JASPES MINA	73	40		2,84	1276		0,2	0,6	0,8	2,2
1916	683674	4185000	937	JASPES PLACA EN SUELO	73	40		2,84	522		0,3	1,2	0,8	4,6
1951	667261	4180514	937	JASPE. Zrisco	73	40	P	2,8	65					
1957	685723	4183910	937	JASPE. Zmaj	73	40	P	2,79	1005	2,17				
188	681185	4177891	937	chert	74	40	L	2,64	42		2,9	2,7	9,4	22,0
205	680565	4180555	937	chert	74	40	L	2,72	18					
219	677016	4178112	937	chert	74	40	L	2,64	14					
228	673237	4176553	937	chert (vidrio silicificado y sodificado?)	74	40	L	2,65	10					
532	666280	4181160	937	chert	74	40	L	2,66	1		2,8	2,6	11,2	23,0
885	673985	4166982	959	chert	74	40		2,63	10					
1580	683334	4181591	937	CUARZOARENITA -CHERT	74	40	L	2,67	31	0,63	1,2	1,7	10,2	12,7
1802	657132	4177301	936	Fm. Detrítica (VOLCANO-SEDIMEN)	74	40	P	2,58	12		1,8	1,3	7,5	9,9
1844	688077	4185335	937	CHERT (SILICEA)	74	40		2,53	14		1,3	1,7	9,1	15,3
1	686021	4167659	959	CUARCITA (METARENISCA) ferruginosa	81	30	L	2,60	72					
6	685617	4166316	959	CUARCITA (METARENISCA) ferruginosa	81	30	L	2,57	94					
74	651856	4173664	936	CUARCITA+O211(INICIO BIOTITA)	81	30	L	2,53	8					
101	655116	4165317	958	CUARCITA	81	30	L	2,65	28					
102	655061	4165267	958	CUARCITA	81	30	L	2,48	30					
1739	665566	4176757	937	CUARCITA CVS Ó PQ. MINA LA RICA	81	30	L	2,59	36	0,02				
1774	670318	4172897	937	CUARCITA ENTRE PIZARRAS	81	30	P	2,64	10	0,44	0,4	0,6	4,5	6,9
1823	662424	4171280	937	CUARCITA	81	30	P	2,66	21		1,3	2,9	13,0	17,4
246	680271	4187169	937	ESQUISTO MILONITIZADO	82	10	L	2,49	75					0,0
257	686260	4184879	937	ESQUISTO CLORÍTICO (DE VI-VB)	82	10		2,65	60					
1104	688910	4183730	937	ESQUISTO MILONITICO	82	10	L	2,58	29					
1597	669810	4187086	937	ESQUISTO (PULO DO LOBO)	82	10	L	2,64	38	1,37	3,4	3,3	20,4	30,7
1598	670000	4186523	937	ESQUISTO (PULO DO LOBO)	82	10		2,52	21		3,2	2,8	20,7	28,1
1783	669436	4186384	937	ESQUISTO MOSCOVITICO (P. LOBO)	82	10	P	2,47	31	0,39	3,7	3,4	22,1	31,6
1784	669055	4185716	937	ESQUISTO MOSCOVITICO (P. LOBO)	82	10	P	2,49	27	0,04	3,6	3,2	16,9	29,3
1786	668376	4186670	937	ESQUISTO MOSCOVITICO (P. LOBO)	82	10	L	2,66	26		3,6	1,5	19,2	28,4
1787	667735	4187468	937	ESQUISTO MOSCOVITICO (P. LOBO)	82	10	L	2,62	22		3,3	2,3	16,2	26,7
1788	669080	4189267	937	ESQUISTO MOSCOVITICO (P. LOBO)	82	10	L	2,28	28		3,9	4,5	21,0	32,8
1789	667164	4188933	937	ESQUISTO MOSCOVITICO (P. LOBO)	82	10		2,52	10	2,61	2,9	3,1	14,0	24,5
1790	665314	4188352	937	ESQUISTO MOSCOVITICO (P. LOBO)	82	10	P	2,31	14		1,7	2,3	14,8	19,0

1791	663845	4188647	937	ESQUISTO MOSCOVITICO (P. LOBO)	82	10	L	2,40	16	5,11	3,7	2,6	19,5	30,9
1792	662801	4188308	937	ESQUISTO MOSCOVITICO (P. LOBO)	82	10		2,34	15		3,4	3,2	19,0	28,4
1793	661685	4187928	937	ESQUISTO MOSCOVITICO (P. LOBO)	82	10		2,36	21		3,4	2,5	22,0	30,6
1794	659611	4186207	936	ESQUISTO MOSCOVITICO (P. LOBO)	82	10		2,58	21		3,7	3,6	16,0	28,9
1818	654576	4187788	936	ESQUISTO MOSCOVITICO (P. LOBO)	82	10		2,52	23	0,84	3,0	3,2	17,3	26,9
1819	654183	4185702	936	ESQUISTO MOSCOVITICO (P. LOBO)	82	10	P	2,43	36	0,23	2,7	2,5	17,1	25,4
1820	655012	4184624	936	ESQUISTO MOSCOVITICO (P. LOBO)	82	10		2,51	22	0,10	3,5	3,1	16,0	27,8
1826	657926	4188339	936	ESQUISTO MOSCOVITICO (P. LOBO)	82	10	P	2,50	19	0,20	3,2	3,2	16,6	27,3
1785	666867	4184971	937	ESQUISTO GAFO	82	20	P	2,38	13		3,3	1,7	17,1	25,8
1521	684725	4189654	937	PIZARRAS N.,GR.+ ARENISCAS (P.)	83	10		2,65	25					
1500	673200	4187200	937	PIZARRAS (AR+GW)	83	20		2,73	21					
1502	673440	4185250	937	(AR+GW)(PIZARRAS NEGRAS)	83	20	L	2,43	27	0,13	2,8	2,9	16,2	20,0
1504	674123	4184515	937	PIZARRAS NEGRAS (AR+GW)	83	20		2,53	23		2,7	3,5	16,7	25,0
1507	675329	4186536	937	PIZARRAS grises y ARENIS. (GAFO)	83	20		2,57	42		2,4	2,3	12,8	22,0
1508	675438	4185572	937	PIZARRAS grises y ARENIS. (GAFO)	83	20		2,63	70					0,0
1509	675576	4184884	937	PIZARRAS grises y ARENISCAS	83	20		2,32	12					
1520	684598	4188135	937	PIZARRAS NEGRAS.GAFO	83	20		2,56	10		3,2	3,1	12,8	24,8
1522	684480	4187179	937	PIZARRAS N.,GR.+ ARENISCAS	83	20		2,53	13					
1599	669926	4185811	937	PIZARRAS-ARENISCAS (GAFO)	83	20	L	2,55	17	0,03				
1600	669921	4185192	937	PIZARRA GRIS	83	20	L	2,46	20	0,02	2,6	2,4	13,9	23,3
1604	677050	4185114	937	PIZARRAS (GAFO)	83	20	L	2,58	26	0,09	4,0	3,7	18,0	30,7
1605	677303	4185268	937	ARENISCA FELDESPATICA	83	20		2,54	14		3,2	1,9	12,3	19,7
1737	662043	4172074	937	PIZARRAS PQ	83	30		2,55	16		3,2	3,3	20,2	30,0
1797	658435	4172956	936	PIZARRA	83	30	P	2,36	26		2,4	2,0	12,9	20,6
1798	658034	4174290	936	PIZARRA	83	30		2,26	26		2,6	1,7	12,8	21,0
1822	663277	4171453	937	PIZARRAS	83	30	P	2,49	30		3,1	1,9	14,1	24,3
22	673929	4167059	959	PIZARRAS MORADAS	83	40	L	2,56	65					
26	680274	4167202	958	PIZARRAS MORADAS	83	40	L	2,54	45					
64	654256	4165386	959	PIZARRA MORADA (EXHALITA)	83	40	L	2,56	20					
173	667861	4178273	937	PIZARRA SERICITICA	83	40	L	2,24	50		1,9	2,0	14,8	19,9
174	662559	4183208	937	PIZARRA SERICITICA	83	40	L	2,48	62					0,0
185	680589	4177646	937	PIZARRA SERICITICA	83	40	L	2,59	44		3,6	4,1	16,5	30,8
187	681066	4177944	937	PIZARRAS (AR+GW)	83	40	L	2,55	46		3,8	3,1	15,7	29,2
204	680583	4180499	937	PIZARRA MORADA (exhalita) on OxFe	83	40	L	2,69	14					
214	679467	4177282	937	PIZARRA	83	40	L	2,57	30		2,7	1,6	14,0	22,7
224	676589	4178738	937	PIZARRAS (AR+GW)	83	40	L	2,67	12		5,2	2,2	15,8	34,3
256	684254	4185088	937	PIZARRA (DERIVADA DE RIOLITA)	83	40	L	2,32	50		6,2	2,8	12,3	37,7
492	688349	4186870	937	PIZARRA	83	40	L	2,60	30					
494	683192	4178078	937	PIZARRA SERICITICA	83	40	L	2,56	11		1,9	1,8	11,2	17,8
509	676807	4175384	937	PIZARRA MORADA (FERRUGINOSA)	83	40	L	2,57	54		3,3	2,1	16,0	26,0
886	673587	4167277	937	PIZARRA MORADA	83	40		2,72	46					
1103	688900	4183700	937	PIZARRA SERICITICA	83	40	L	2,43	16					
1169	661175	4182775	937	PIZARRA	83	40		2,55	34					0,0
1173	657655	4181305	936	PIZARRAS (AR+GW)	83	40	L	2,65	54		3,8	3,1	19,0	32,2
1179	654575	4181825	936	PIZARRA	83	40	L	2,66	62		4,1	5,3	19,7	35,4
1185	656875	4179200	936	PIZARRAS (AR+GW)	83	40	P	2,65	55		5,1	4,5	18,7	36,6
1245	688830	4183590	937	PIZARRA SERICITICA	83	40		2,32	40					
1548	683053	4186273	937	PIZARRA MORADA	83	40		2,72	31					
1556	681000	4184142	937	TUFITAS (VULCANERITAS)	83	40		2,61	26		4,7	2,7	15,9	32,7
1564	683805	4183486	937	PIZARRA MORADA	83	40	L	2,36	25	0,41				
1601	675952	4184281	937	TECHO DEL C.V.S.	83	40	L	2,57	23	0,01	3,8	2,7	16,1	30,0

1622	671770	4177510	937	AGLOMERADO DE DACITAS y PIZA.	83	40	2,59	28		5,4	1,6	9,3	32,3
1673	675190	4178446	937	PIZARRAS Y GRAUWACAS	83	40	2,54	21		2,9	3,8	16,6	25,8
1694	682887	4176882	937	PIZARRAS MORADAS. MILONITIZADA	83	40	L 2,64	16	0,42	2,1	2,9	11,3	20,3
1706	685215	4179530	937	PIZARRA MORADA. MILONITIZADA	83	40	P 2,82	17	0,33	4,5	1,4	5,6	22,5
1729	684137	4171388	937	TUFITA APIZARRADA CVS	83	40	L 2,44	8	0,28	3,0	3,6	21,6	27,6
1740	665674	4177113	937	PIZARRAS (FORM.VOLCANOSED.)	83	40	P 2,57	16	0,03	4,1	1,4	20,3	32,9
1741	664891	4177563	937	PIZARRAS (FORM.VOLCANOSED.)	83	40	2,55	8		4,0	2,8	20,7	31,5
1743	662823	4174947	937	PIZARRAS (FORM.VOLCANOSED.)	83	40	2,69	30		2,6	2,8	13,1	23,3
1744	661642	4174298	937	PIZARRAS (FORM.VOLCANOSED.)	83	40	2,58	16		2,7	1,6	12,6	21,1
1762	665009	4178026	937	PIZARRAS (FORM.VOLCANOSED.)	83	40	P 2,53	28	0,03	3,8	2,7	16,9	29,8
1764	662736	4177419	937	PIZARRAS (FORM.VOLCANOSED.)	83	40	L 2,45	18		3,2	3,5	11,1	23,8
1768	661633	4178337	937	PIZARRAS Y GRAUWACAS CVS	83	40	2,36	16					0,0
1769	662121	4178647	937	PIZARRAS Y GRAUWACAS CVS	83	40	2,55	10		2,0	2,1	11,6	17,7
1776	671830	4174418	937	GRAUWACA (VOLCANO-SEDIMEN)	83	40	P 2,56	21	0,01	2,8	1,8	14,0	22,7
1777	672859	4174946	937	PIZARRA (VOLCANO-SEDIMENTARIA)	83	40	P 2,37	20	0,02	2,6	1,6	14,9	22,2
1779	662623	4183166	937	PIZARRA (VOLCANO-SEDIMENT)	83	40	P 2,38	19	0,13				0,0
1782	660493	4182563	937	PIZARRA (VOLCANO-SEDIMENT)	83	40	P 2,67	17	0,08	3,7	3,1	19,3	30,2
1807	655917	4174580	936	PIZARRA (VOLCANO-SEDIMENT)	83	40	2,42	28		3,9	2,5	15,9	29,0
1810	657948	4176266	936	PIZARRA (VOLCANO-SEDIMENT)	83	40	L 2,37	21	0,67	3,0	2,9	13,6	24,9
1811	658297	4175382	936	PIZ-GRAUW (VOLCANO-SEDIMENT)	83	40	P 2,57	28	0,92	3,9	1,8	17,0	29,3
1814	656280	4182662	936	PIZARRA (VOLCANO-SEDIMENTARIA)	83	40	2,50	27	1,43	3,5	4,0	15,7	29,5
1845	688077	4185335	937	PIZARRA NEGRA	83	40	2,46	23	1,56	2,4	2,7	16,0	23,0
1961	656309	4179165	936	PIZARRA CVS	83	40	P 2,45	21		3,4	1,4	16,7	27,4
1964	653408	4173245	936	PIZARRAS MORADAS	83	40	P 2,45	34		2,0	0,4	9,8	15,0
3	686190	4167624	959	PIZARRA MILONITICA SERICITICA	83	60	L 2,59	53					
24	681745	4167770	959	PIZARRA (SERICÍTICO-LIMOLÍTICA)	83	60	L 2,53	24					
25	680924	4167497	959	PIZARRA (SERICÍTICO-LIMOLÍTICA)	83	60	L 2,48	18					
27	680625	4166691	959	PIZARRA (SERICÍTICO-LIMOLÍTICA)	83	60	L 2,59	65					
28	680492	4171510	937	PIZARRA (SERICÍTICO-LIMOLÍTICA)	83	60	L 2,36	53					0,0
29	679561	4170298	959	PIZARRA (SERICÍTICO-LIMOLÍTICA)	83	60	L 2,41	38					
66	652903	4169067	958	FILOMILONITA	83	60	L 2,18	46					
69	652998	4169899	958	PIZARRA SERICITICA	83	60	L 2,44	42					
70	652375	4171796	936	MILONITA (DE ROCA RIOLITICA)	83	60	L 2,54	4		3,1	2,6	14,5	25,5
73	652438	4172089	936	FILOMILONITA (RIOLITICA)	83	60	L 2,61	4		3,6	3,1	17,6	27,9
100	655072	4165068	958	PIZARRA SERICITICO-CLORITOSA	83	60	L 2,49	16					
103	654981	4165323	958	PIZARRA (NODULO DE GOETHITA)	83	60	L 2,37	54					
104	654731	4165387	958	PIZARRA (FILONITA-CINERITA)	83	60	L 2,63	26					
107	665532	4165014	959	PIZARRA (SEMIESQUISTO ON BIOTITA)	83	60	L 2,53	20					
177	664931	4173917	937	PIZARRA SERICITICA	83	60	L 2,35	44					0,0
222	676784	4178277	937	PIZARRA (FILONITA)	83	60	2,63	10		2,2	3,1	13,6	20,6
501	686512	4175488	937	PIZARRA	83	60	L 2,14	2		3,1	3,0	15,0	25,4
502	688158	4173696	937	PIZARRA	83	60	L 2,36	5		3,4	2,8	19,9	30,3
503	687868	4172016	937	PIZARRA SERICITICA	83	60	L 2,33	74		3,3	4,0	19,5	29,4
504	684042	4171485	937	PIZARRA	83	60	L 2,46	4		5,0	4,6	21,1	38,5
506	680896	4171849	937	PIZARRA SERICITICA	83	60	L 2,60	7		3,0	2,1	14,6	25,3
507	681686	4173041	937	PIZARRA SERICITICA	83	60	L 2,45	5		1,9	1,9	15,7	23,9
508	679035	4174706	937	PIZARRA	83	60	L 2,27	4		2,6	1,5	18,5	23,0
511	677718	4176228	937	PIZARRA SERICITICA	83	60	L 2,35	3		3,6	2,2	18,3	26,8
550	689507	4169672	960	PIZARRA	83	60	2,64	7					
629	688612	4167679	959	PIZARRA	83	60	2,28	26					
630	688530	4167852	959	PIZARRA SERICITICA	83	60	2,56	18					

879	682607	4171950	937	PIZARRA	83	60	2,18	72	3,1	2,1	14,0	23,6	
880	681534	4171968	937	PIZARRA	83	60	2,36	54	3,6	2,9	20,2	29,9	
881	679879	4170993	937	PIZARRA	83	60	2,28	53	3,6	3,8	16,5	28,8	
882	678668	4168825	959	PIZARRA	83	60	2,27	29					
883	676791	4167095	959	PIZARRA	83	60	2,65	34					
884	675358	4167008	959	PIZARRA	83	60	2,53	33					
887	672821	4167917	959	PIZARRA	83	60	2,36	54					
888	671563	4169189	959	PIZARRA	83	60	2,46	54					
889	670718	4170136	959	PIZARRA	83	60	2,40	47					
891	674610	4165927	959	PIZARRA	83	60	2,57	46					
1180	658350	4184600	936	PIZARRA	83	60	L 2,38	46		3,2	3,0	15,2	26,2
1505	675429	4183394	937	PIZARRAS NEGRAS (AR+GW)	83	60	L 2,43	25	0,01	3,6	2,5	17,3	29,2
1510	675496	4184146	937	PIZARRAS Neg-Grises + ARENISCAS	83	60	2,60	20		2,6	2,8	15,9	23,6
1603	676456	4184713	937	PIZARRAS DEL CULM	83	60	L 2,35	28	0,09				0,0
1608	667087	4171744	937	ALTERNANCIA DE PIZARRAS Y AR.	83	60	L 2,60	28					0,0
1609	667834	4171777	937	ALTERNANCIA DE PIZARRAS Y AR.	83	60	2,39	22					0,0
1610	668547	4172310	937	ALTERNANCIA DE PIZARRAS Y AR.	83	60	2,43	28		2,8	2,5	16,8	25,5
1611	669586	4172425	937	ALTERNANCIA DE PIZARRAS Y AR.	83	60	2,48	22		2,4	3,5	13,2	22,8
1612	669002	4173195	937	ALTERNANCIA DE PIZARRAS Y AR.	83	60	2,67	60		2,6	2,9	15,6	23,6
1613	667982	4173430	937	ALTERNANCIA DE PIZARRAS Y AR.	83	60	2,49	54		2,5	2,9	13,5	22,9
1614	667239	4173752	937	ALTERNANCIA DE PIZARRAS Y AR.	83	60	L 2,31	28					0,0
1685	685822	4175622	937	PIZARRAS (CULM). Sericitizada	83	60	L 2,32	30	0,03	3,3	4,1	15,8	27,8
1686	688024	4175206	937	PIZARRAS (CULM)	83	60	2,61	23		3,4	2,1	20,7	28,1
1687	688151	4173766	937	PIZARRAS (CULM) (FPLL-502)	83	60	2,53	24		3,3	3,5	19,9	29,7
1688	687860	4171877	937	PIZARRAS (CULM) (FPLL-503)	83	60	2,69	27	0,03	3,1	3,3	19,9	28,3
1689	684684	4175730	937	PIZARRAS (CULM)	83	60	2,59	20		2,9	2,9	16,3	24,8
1693	683291	4177046	937	PIZARRAS (CULM)	83	60	P 2,35	16	0,03	3,0	2,4	15,8	24,4
1697	682546	4177355	937	PIZARRAS (CULM)	83	60	2,39	24		2,3	2,0	12,1	20,8
1723	677045	4175306	937	PIZARRAS ALTER. Con GRAUWACAS	83	60	P 2,60	18	0,01	2,9	2,1	15,6	24,8
1724	677635	4175044	937	PIZARRAS CULM	83	60	2,59	27		4,0	2,9	15,9	29,4
1725	679107	4174392	937	PIZARRAS CULM	83	60	2,53	17		2,6	1,5	15,5	23,6
1726	681276	4173274	937	PIZARRAS CULM (FPLL-507)	83	60	2,49	22		2,9	3,0	14,2	24,7
1727	680815	4171822	937	PIZARRAS CULM (FPLL-506)	83	60	2,54	30		3,2	3,4	17,9	29,2
1728	680347	4171258	937	PIZARRAS CULM (FPLL-28)	83	60	P 2,51	24	0,06				0,0
1736	662510	4170906	937	PIZARRAS CULM	83	60	L 2,49	17	0,02	2,8	3,0	14,2	24,6
1778	673282	4175768	937	PIZARRA DEL CULM	83	60	P 2,39	20	0,01	2,6	1,3	15,7	22,0
1795	662040	4184053	937	PIZARRA CULM	83	60	P 2,34	21		4,1	2,2	15,0	28,9
1813	657140	4183645	936	PIZARRA (VOLCANO-SEDIMENTARIA)	83	60	2,48	23	5,11	3,5	2,8	14,0	27,1
1817	654554	4182020	936	PIZARRA CULM	83	60	2,70	23		3,8	3,2	14,5	29,0
1952	667338	4179905	937	PIZARRAS CULM. ZRISCO	83	60	P 2,6	20	2,18				

7.2.4. ROCAS PLUTÓNICAS

N	X	Y	H	LITOLOGIA	Cd	Un	L	Dap	Sus	Q	K	U	Th	Rt
206	680290	4183653	937	diorita (q, tonalita con px)	43	L	2,85	30						
521	672979	4183230	937	tonalita	43	L	2,70	49						0,0
1177	655450	4180875	936	tonalita-granodiorita ANFIBOLICA	43	L	2,71	33						0,0
1178	655025	4181300	936	cuarzodiorita -tonalita	43	L	2,76	50		0,8	2,1	8,9		11,7
1181	653500	4180375	936	TONALITA (asociada A DACITAS)	43	L	2,68	42						0,0
1184	655550	4180500	936	tonalita-granodiorita ANFIBOLICA	43	L	2,72	31						
1575	680304	4183591	937	TONALITA (ROCAS SUELTAS)	43	L	2,76	63	0,01	0,7	0,4	4,4		7,3
1576	680921	4183549	937	TONALITA (AFLORANDO)	43		2,74	67						
1781	660116	4182225	937	TONALITA	43	P	2,59	49	0,04					0,0
1803	656431	4180199	936	TONALITA	43	P	2,59	28		1,7	1,5	10,8		15,6
1815	656144	4181339	936	TONALITA	43	P	2,57	35		0,7	0,8	7,3		9,0
1816	655085	4181270	936	TONALITA	43	P	2,68	27		1,9	1,7	10,7		16,9
1963	654454	4179165	936	TONALITA (Balsa de Agua)	43	P	2,68	21						
520	673346	4182845	937	granito	52	L	2,58	2						0,0
1170	660650	4182675	937	granito	52	P	2,72	31						0,0
1175	655700	4180750	936	granodiorita ANFIBOLICA	52	L	2,62	35						0,0
1182	654700	4179450	936	granito SUBVOLCANICO	52	L	2,72	42						0,0
1962	655104	4179665	936	GRANITO FINO	52	P	2,58	14		2,1	2,1	10,9		17,9

7.3. MAGNETIZACIÓN REMANENTE DE ROCAS DEL DOMINIO NOROCCIDENTAL DE LA FAJA PIRÍTICA

Se han medido 185 magnetizaciones remanentes naturales $J_{\text{nr}}m$ en muestras de roca no orientada en ejemplares del muestreo general (**tabla VI**). La medida se ha efectuado a partir de uno de los trozos de roca de la muestra recogida en cada sitio de campo, trozo del que se ha obtenido un paralelepípedo de 1" para la medición de la magnetización en un magnetómetro de spin JR5 (**Anexo 7.1**). Por razones de coste y tiempo fue preciso hacer una selección de todos los sitios muestreados para densidad y susceptibilidad magnética en la campaña regional de 2002-2004 (377 en total), selección que se centró en las litologías volcánicas (124 mediciones, **tabla VI**) como causantes de las principales anomalías magnéticas de la zona estudiada. En las rocas metasedimentarias y metamórficas se han realizado 59 medidas.

Desde el punto de vista de interpretación de anomalías aeromagnéticas la variable a analizar es el parámetro de Koenigsberger Q , razón magnetización remanente/ magnetización inducida, $J_{\text{nr}}m/J_i$, en representación bivalente frente a la susceptibilidad (**figura 42**). El diagrama k - Q es una buena representación de la magnetización de las rocas cuando se trata de analizar anomalías magnéticas de campo total. Recordemos que la anomalía magnética es el producto de un factor geométrico (volumen de la fuente y distancia al sensor) por un contraste de magnetización inducida J_i y remanente $J_{\text{nr}}m$ expresable por: $J_i + J_{\text{nr}}m = \Delta k * H_t + J_{\text{nr}}m$ (Δk , contraste de susceptibilidades). En el caso usual de tratarse de una magnetización remanente viscosa ($Q < 1$, adquirida por una larga exposición a un campo débil) paralela al campo terrestre H_t , la expresión anterior se puede escribir como: $\Delta k * H_t + (J_{\text{nr}}m * J_i / J_i) = \Delta k (1 + Q) * H_t$; a $\Delta k (1 + Q)$ se le denomina susceptibilidad efectiva. Cuando la magnetita es MD (multidominio), bien cristalizada, casi pura, su remanencia suele ser viscosa, subparalela al campo actual. Esto ocurre con frecuencia en rocas ígneas intrusivas, de modo que la susceptibilidad se ve incrementada en el ratio Q ($Q = 0.2-0.7$ en muchas de ellas, Clark, 1997). Así, las anomalías pueden interpretarse en términos de inducción, si bien alcanzan valores mayores que los esperados según las susceptibilidades medidas en laboratorio.

El diagrama k - Q permite reconocer, en primera aproximación, la fase ferromagnética presente y ciertos procesos a los que eventualmente se ha podido ver sometida: las tendencias en los datos permiten la identificación del mineral ferromagnético dominante (los campos de variación aproximados son en rocas con magnetita $100 < k < 10.000$, $0.01 < Q < 1$; con titanomagnetita $k > 1000$, $0.1 < Q < 10$; con pirrotina $k > 100$, $Q > 2$; con hematites $k < 100$, $1 < Q < 100$; Henkel, 1994, **figura 42**) y muestran en qué rocas domina la inducción J_i y en qué rocas lo hace la remanencia $J_{\text{nr}}m$. En estas últimas sería necesario para la interpretación magnética de detalle determinar la dirección de la remanencia mediante medidas en muestras orientadas. Adicionalmente, a pesar de la complejidad de los fenómenos implicados, Henkel, 1991, ha explicado algunas tendencias naturales delineadas por los datos petrofísicos k - Q del escudo escandinavo (en unas 9000 muestras), tendencias a las que nos vamos a referir en la descripción de los resultados obtenidos en el dominio noroccidental de la Faja Pirítica (**figura 42**).

7.3.1. ROCAS VOLCÁNICAS

Del conjunto volcánico básico disponemos de 24 andesitas ($0.02 < Q < 0.82$, con un dato igual a 26.17; la mediana es $Q_{\text{mn}} = 0.13$), 23 espilitas ($0.01 < Q < 4.13$, $Q_{\text{mn}} = 0.41$), y 11 diabasas ($0.2 < Q < 0.92$, $Q_{\text{mn}} = 0.24$).

De volcanitas ácidas se dispone de 23 dacitas ($0.02 < Q < 4.88$; $Q_{\text{mn}} = 0.22$), 20 riolitas ($0.01 < Q < 1.95$, $Q_{\text{mn}} = 1.25$, en la fracción ferromagnética, la distribución es bimodal), y 23 tobas ($0.04 < Q < 5.47$, $Q_{\text{mn}} = 0.26$).

Las volcanitas aparecen bien diferenciadas en el diagrama de la **figura 42**, en los dos grupos generales de rocas para y ferromagnéticas.

Las andesitas, dacitas y las tobas son paramagnéticas con valores de Q bajos ($k < 100$, $Q < 1$). En buena parte de los datos de remanencia no se observa tendencia alguna, correspondiendo a situaciones al límite de la resolución instrumental. Existen tres valores de Q más elevados ($Q > 1$) que podrían delinear una tendencia de exolución de la magnetita, ExM en **figura 42**. En litologías anfibólicas esta tendencia refleja la presencia creciente del dominio de la magnetita fina o muy fina (el dominio único, magnetita SD, se presenta en tamaños submicrométricos entre 0.05 y 1 μm) con el incremento del anfíbol, lo que se traduce en parámetros Q que van de bajos -sobre 0.3- hasta valores del orden de 10, mientras que la susceptibilidad permanece paramagnética. Esta tendencia es típica de rocas máficas metavolcánicas (como andesitas y basaltos) y en algunos gabros. Exoluciones similares se dan en todos los minerales máficos paramagnéticos excepto biotita (en piroxenos y olivinos así como en anfíboles). Es dudoso que este fenómeno sea discernible en las muestras estudiadas.

En los basaltos espilitizados es mayoritaria la fracción ferromagnética: son numerosas las rocas típicas del dominio de la magnetita MD (el multidominio -MD- corresponde a tamaños superiores a 20 μm ; $1000 < k < 10.000 \cdot 10^{-6}$ ucgs, $Q < 1$, este rectángulo aproximado aparece representado en la parte izquierda de la **figura 42**), con valores de Q típicamente viscosos ($Q_{\text{mn}} = 0.50$ en el grupo de basaltos ferromagnéticos). Las diabasas tienen un comportamiento magnético similar: también en ellas domina la inducción magnética sobre la remanencia. Esto supone una gran facilidad para la cartografía magnética aérea de ambas litologías, lo que es importante pues son los dos principales marcadores magnéticos del área, y además era anticipable por lo bien que funciona la reducción al polo en ellos (**figura 21**). Si existiera una cierta deficiencia de susceptibilidad para la intensidad de las anomalías magnéticas producidas por estas rocas, una moderada remanencia de orientación normal puede jugar un cierto papel en el magnetismo de las mismas, aumentando su susceptibilidad efectiva.

En algunas muestras de basaltos se puede hablar de una tendencia a la oxidación de la magnetita (OxM en **figura 42**). Es típica (Henkel, 1991) de rocas afectadas por fuerte fracturación y/o procesos de erosión. Con una oxidación completa, toda la magnetita pasa a hematites, lo que hace decrecer la susceptibilidad de la roca drásticamente (v.g. desde unas $2000 \cdot 10^{-6}$ ucgs a valores inferiores a $100 \cdot 10^{-6}$ ucgs). Los procesos de martitización observados en probeta son importantes en algunas muestras.

Adicionalmente, un grupo de muestras de basaltos y diabasas podrían delinear una directriz de exolución de ilmenita (ExI en **figura 42**). Es típica de rocas que contienen titanomagnetita como doleritas y gabros. Un incremento en el contenido de Ti puede afectar ligeramente a la susceptibilidad, disminuyéndola en todo caso, mientras que la remanencia aumenta puesto que el tamaño de grano de la magnetita se reduce por la partición causada por la ilmenita exuelta. Esto favorece que el valor de Q se incremente gradualmente (Henkel 1991, 1994, **figura 42**).

Por último, las riolitas se encuentran a caballo entre los datos para y ferromagnéticos. La remanencia del grupo de riolitas ferromagnéticas (que es la que hay que considerar desde el punto de vista de interpretación de anomalías aeromagnéticas) es elevada, con $Q_{\text{mn}} = 1.25$, la mayor entre todas las litologías volcánicas muestreadas. Por ello que pueden existir en el mapa aeromagnético anomalías dominadas por la remanencia (rectángulo superior derecho de la parte derecha de la **figura 42**). Estas rocas deben contener una población de magnetita fina (magnetita SD, single-domain) contribuye al aumento no sólo de la susceptibilidad, sino aún en mayor medida de la razón Q. En todo caso queda claro que la orientación de la J_{nm} de estas riolitas es un factor adicional para comprender las anomalías producidas por este cuerpo.

7.3.2. ROCAS METASEDIMENTARIAS Y METAMÓRFICAS

Se dispone de un total de 59 mediciones en estas rocas, de las que sólo son ferromagnéticas ($k > 250 \cdot 10^{-6}$ ucgs) un grupo de jaspes.

El gran grupo paramagnético integrado por las rocas metasedimentarias y metamórficas es de menor interés, comprendiendo una miscelánea de grauvacas, pizarras, y esquistos que exhiben susceptibilidades e imanaciones bajas ($k < 40$, $Q < 1$; las medianas Q_{mn} se dan en la tabla IX) con datos que se distribuyen erráticamente. No es interpretable una tendencia posible en filitas y esquistos, debida a la variación del contenido de biotita en la muestra (línea de la biotita, Henkel 1991). El aumento del contenido en biotita hace que la susceptibilidad aumente, aunque manteniéndose en los límites del paramagnetismo, mientras que el factor Q permanece bajo, viéndose poco afectado por estos cambios. Se trataría de una correlación negativa que es causada por un incremento gradual en el contenido de minerales paramagnéticos (principalmente biotita), mientras la remanencia permanece en el límite de la resolución instrumental. La tendencia es típica de rocas como filitas, esquistos y gneises, y es la continuación de tendencias similares características de rocas como cuarcitas, calizas y dolomías.

En cambio, sí son interesantes los datos de jaspes, con muestras ferromagnéticas existentes a caballo entre el dominio de las magnetitas y las titanomagnetitas (**figura 42**), por lo que pueden existir en el mapa aeromagnético anomalías debidas a jaspes dominadas por la remanencia. Es difícil establecer tendencias del parámetro Q de estas rocas, por lo reducido del muestreo. En todo caso, la magnitud de la remanencia de los jaspes ($Q_{mn} = 3.23$) hace que nos encontremos ante rocas que pueden alcanzar susceptibilidades efectivas muy elevadas.

En conclusión, a pesar de lo reducido del muestreo, se puede indicar lo siguiente:

-Espilitas y diabasas, principales marcadores magnéticos del Dominio noroccidental de la Faja Pirítica, son rocas características de la región de la magnetita MD ($1.000 < k < 10.000 \cdot 10^{-6}$ ucgs, $Q = 0.5$). La inducción magnética predomina sobre la magnetización remanente, con valores de Q típicos de una remanencia viscosa de orientación normal. La cartografía magnética de ambas litologías concuerda muy bien con la geológica.

-Las andesitas, las volcanitas ácidas (salvo un grupo de riolitas) y las rocas metasedimentarias y metamórficas exhiben valores de magnetización y susceptibilidad bajos, sin relevancia para la interpretación aeromagnética.

- Las muestras de riolitas ferromagnéticas y jaspes, a caballo entre el dominio de las magnetitas y las titanomagnetitas, exhiben remanencias significativas, con incrementos importantes de la susceptibilidad efectiva. La orientación de la J_{nrm} es un factor adicional para comprender las anomalías producidas por estos cuerpos

-No se han detectado muestras con valores k - Q correspondientes al dominio de las pirrotinas.

Por tanto, por lo que afecta a las rocas mayoritarias en la cartografía geológica, en general puede decirse que la inducción domina sobre la remanencia (cfr. mapa reducido al polo), en muchos casos viscosa, consecuencia de que el mineral ferromagnético principal debe ser la magnetita MD. Los datos de remanencia refuerzan la interpretación magnética realizada en este informe.

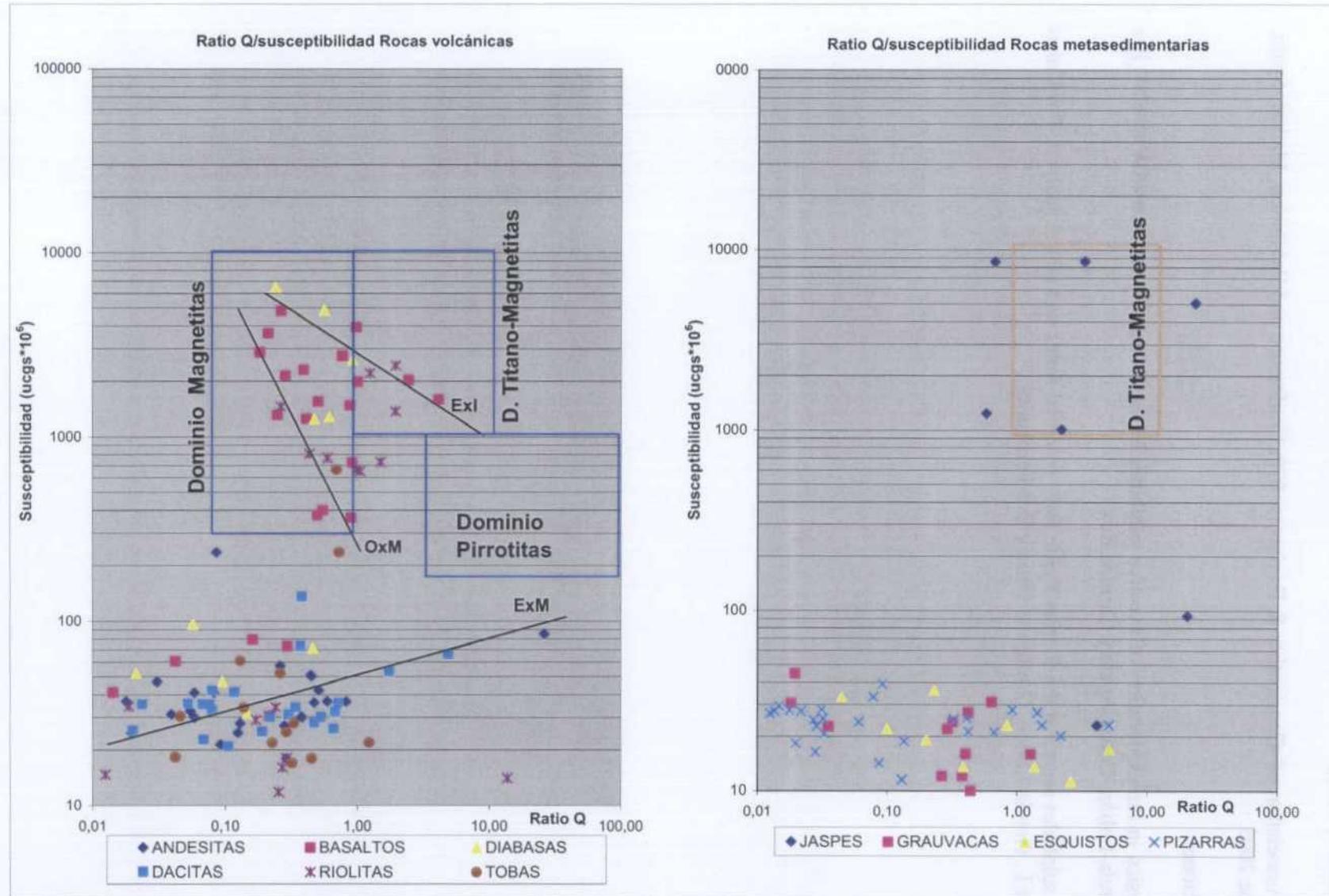


Figura 42. Diagrama parámetro Koenigsberger – susceptibilidad de rocas del Dominio Noroccidental de la Faja Pirítica Española (185 muestras)

7.4. COMUNICACIONES PRESENTADAS A LA 67ª CONFERENCIA DE LA EAGE (MADRID, 2005)

European Association of Geoscientists & Engineers: 67th Conference and Exhibition, Madrid, Spain, 13 – 16 June 2005.

Comunicaciones:

* Petrophysics in the exploration of massive sulphides in the Iberian Pyrite Belt (SW Spain). Por José L. García-Lobón, Conxi Ayala y Carmen Rey.

* Massive sulphides search at the Iberian Pyrite Belt: potential fields and neural analysis. Por Conxi Ayala, José L. García-Lobón, Guillermo Ortiz y Eva Fernandez.

Z-99 Petrophysics in the exploration of massive sulphides in the Iberian Pyrite Belt (SW Spain)

JOSE L. GARCIA-LOBON, CONXI AYALA, CARMEN REY

INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA (Madrid-Spain). jl.garcia@igme.es

Summary

The aim of this paper is to analyse the variation of petrophysical properties measured in field and laboratory from surface rocks of the Northwestern Domain of the Iberian Pyrite Belt, and to describe its relationship with the available geophysical data as well as its significance for massive sulphide exploration in the Belt. In this work 715 density and magnetic susceptibility samples, 185 remanent magnetization samples, and 466 "in situ" spectrometric assays (natural gamma radiation: %K, ppm Th, ppm U) have been measured. Main petrophysical groups have been characterised: high density rocks (andesites, spilites, diabases), low density rocks (metasedimentary rocks, acid volcanics), the magnetic markers of the area (spilites, diabases and jaspers), and finally, the paramagnetic set (metasedimentary lithologies and acid-intermediate volcanics). In most volcanites magnetic induction dominates over remanence, being multidomain magnetite the main ferromagnetic mineral. No pyrrhotite bearing rocks have been detected in the dataset. Collected ground natural gamma data depict a wide range of radiometric values, which show a great overlapping of radioactive contents between different volcanic lithologies (basic-intermediate or even acid terms). A remarkable feature of ground radiometric data are extreme values, especially those of potassic character, related to altered areas where mine occurrences usually appear. Maximum spread in the ground radiometric dataset is recorded on these areas which are characterised by specific structural controls.

Introduction

The Iberian Pyrite Belt (IPB, SW Spain) is one of the largest provinces of volcanogenic massive sulphide (VMS) deposits in the world, with a long history of mining activity. The most suitable geophysical methods for VMS exploration have been used, and a complete coverage of ground gravity and high resolution airborne magnetic and radiometric data acquired in the past decade is available. At present, IGME (Geological Survey of Spain) is involved in several integrated projects aimed to improve the geological interpretation of high-resolution magnetic and radiometric flights by means of an intensive use of petrophysical properties. An exhaustive rock sampling programme has been just run by IGME in some 700 km² in the NW Domain of IPB. Petrophysical characterisation of VMS sites sets up the basis for processing and analysing radiometric and potential field images with the purpose of building geophysical documents for guiding mining prospectivity.

Rock samples come from the geological record exposed in the IPB, which includes: (1) Late Devonian marine platformal sequences. The succession, known as PQ group, consists of quartzites intercalated with greywackes and slates; (2) A Lower Carboniferous Volcano-Sedimentary Complex (CVS), representing a transextensional and collapse stage. In most structural units, volcanic materials are predominantly basaltic and rhyolitic, with pyroclastites and lava. Volcanites are interstratified in a pelite-black shale and sandstone sequence which contains beds of jasper; and, (3) A Middle-Upper Carboniferous thick turbidite formations of greywackes and slates, known as Culm group. The massive sulphides are hosted by the CVS sequence, either directly in the black shale, or resting on acidic volcanic facies albeit commonly separated by a thin pelitic layer.

Laboratory measurements of density have been made by weighting the samples in air and water (Archimedes principle). Magnetic susceptibility is determined in a kappabridge (KLY-3 instrument of AGICO). Rock remanent magnetization is measured in a spin magnetometer (JR5, also of AGICO) on non-oriented 2-inches prisms. Finally, a hand-held 256-channel gamma ray spectrometer GR-320 (Exploranium) has been used to measure concentrations of the natural radioelements potassium, uranium and thorium at the selected sampling sites.

Petrophysical results

Results are presented in the following Table and in Figures 1 and 2.

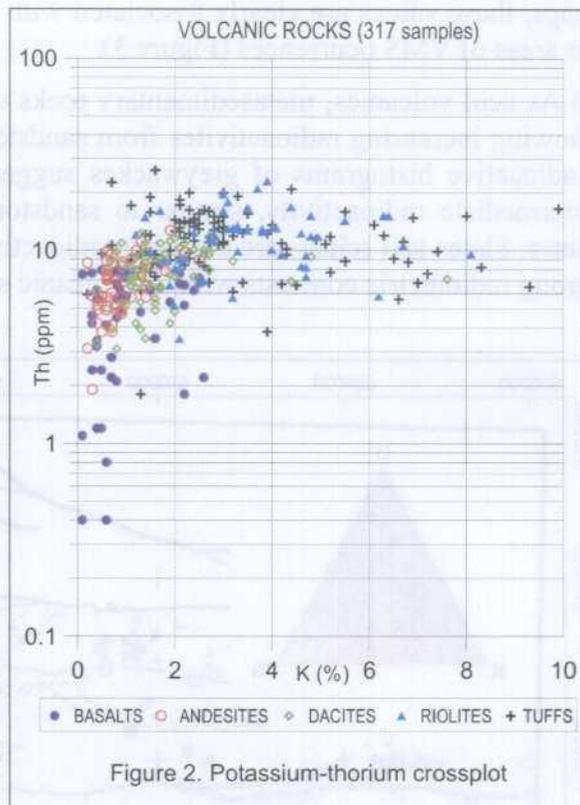
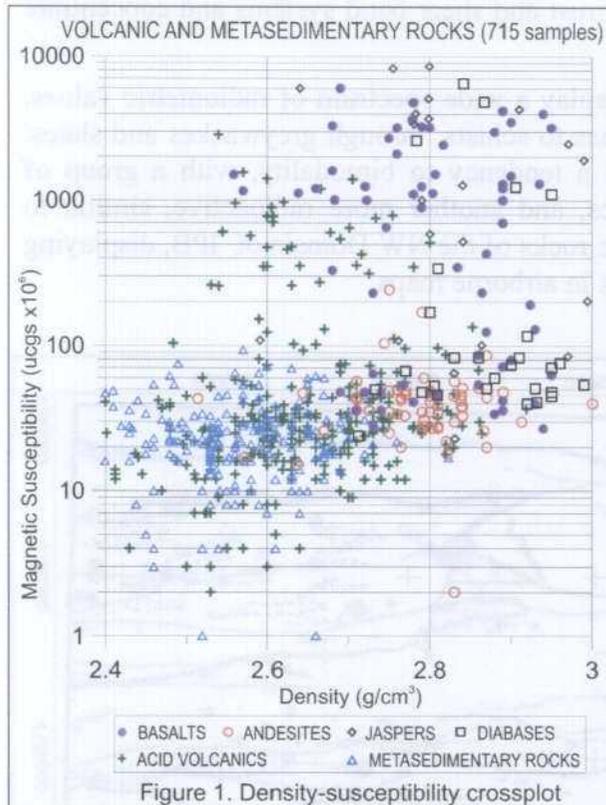
LITHOLOGIES	k_{md}	d_{md}	K_{md}	U_{md}	Th_{md}	Q_{mn}
Andesites	45	2.81	0.6	0.6-1.4	6.0	0.13
Basalts	70-1300-3200	2.89	0.4-2.0	0.6	6.0	0.41
Diabases	60-1200	2.95	0.6	-	3.5	0.24
Dacites	30	2.73	1.0-1.4-2.6	1.3	7.0-9.0	0.22
Rhyolites	40-1100	2.59	2.0-3.3-4.9	1.7-3.1	13.0	1.25
Acid tuffs	20	2.55	2.1-3.1	2.2	14.0	0.26
Intermediate tuffs	30-400	2.71	1.0-1.6	1.1	9.0	-
Jaspers	100-1500-5600	2.80	0.2	0.4	1.0-4.0	3.23
Quartzites	37	2.59	-	-	-	-
Sandstones	27	2.60	0.8	-	10.0	-
Greywackes	19	2.53	2.6	2.6	12.0-16.5	0.32
Slates	28	2.37-2.55	3.2	3.1	16.5	0.08
Schists	27	2.53	3.5	3.3	17.0-21.0	0.39

Modes of magnetic susceptibility k (ucgs* 10^6), apparent density d (g/cm³), and radiometric content of K (%), U (ppm) and Th (ppm). Q_{mn} : Koenigsberger parameter (median).

1) Basic volcanics are the main source of potential field anomalies in the IPB. Andesites, basalts and diabases show increasing densities, being the source of regional gravity anomalies (caused by Andesitic Formations) which include important maxima (due to imbricated basaltic sills). Andesites are clearly paramagnetic rocks, while most of diabases and basalts are ferromagnetic with modes that represent 0.5-1.2% Fe₃O₄ contents. Spilitic basalts are more consistently ferromagnetic than diabases: both lithologies are abundant, show close relationships and constitute the main gravity and magnetic markers of the IPB. These markers usually mask the responses of local sources that could be attributed to the VMS deposits.

2) Acid volcanics are low density paramagnetic rocks. Dacites and acid tuffs are predominant in the acid volcanic set of the NW Domain of IPB. Dacites are petrophysically similar to andesites, being also totally paramagnetic. In the reduced to the pole magnetic map the anomalies displayed by Andesitic-Dacitic formations are due to basaltic sills intercalated in them. Rhyolites and acid tuffs are near paramagnetic rocks, with a subtle trend towards low intensity bimodality of susceptibility. In fact, a black facies of rhyolites is moderately ferromagnetic (up to 0.4% of Fe₃O₄).

3) Average densities and susceptibilities of sandstones, greywackes, quartzites, schists and slates range between 2.49-2.57 g/cm³ and 19-37* 10^{-6} ucgs. As acid volcanics, metasedimentary rocks have low densities and susceptibilities, which do not cause magnetic or gravity anomalies. It must be observed that slates show a density histogram with several modes, being the higher one close to 2.70 g/cm³; this mode produces many problems in gravity prospecting of VMS in the IPB. Jaspers are heavy and ferromagnetic and frequently produce short wavelength magnetic anomalies that constitute an indirect guide for ore body searching in many areas of IPB.



4) Remanence measurements indicate that multidomain magnetite is the main ferromagnetic mineral in basalts and diabases ($1.000 < k < 10.000 \times 10^{-6}$ ucgs, $Q \approx 0.5$). In general, magnetic induction dominates over remanent magnetization, with Q values characteristic of a normal orientated viscous remanence, the exception being jaspers and some rhyolites (the black facies ferromagnetic set). No k - Q values typical of pyrrhotite bearing rocks have been detected in the dataset.

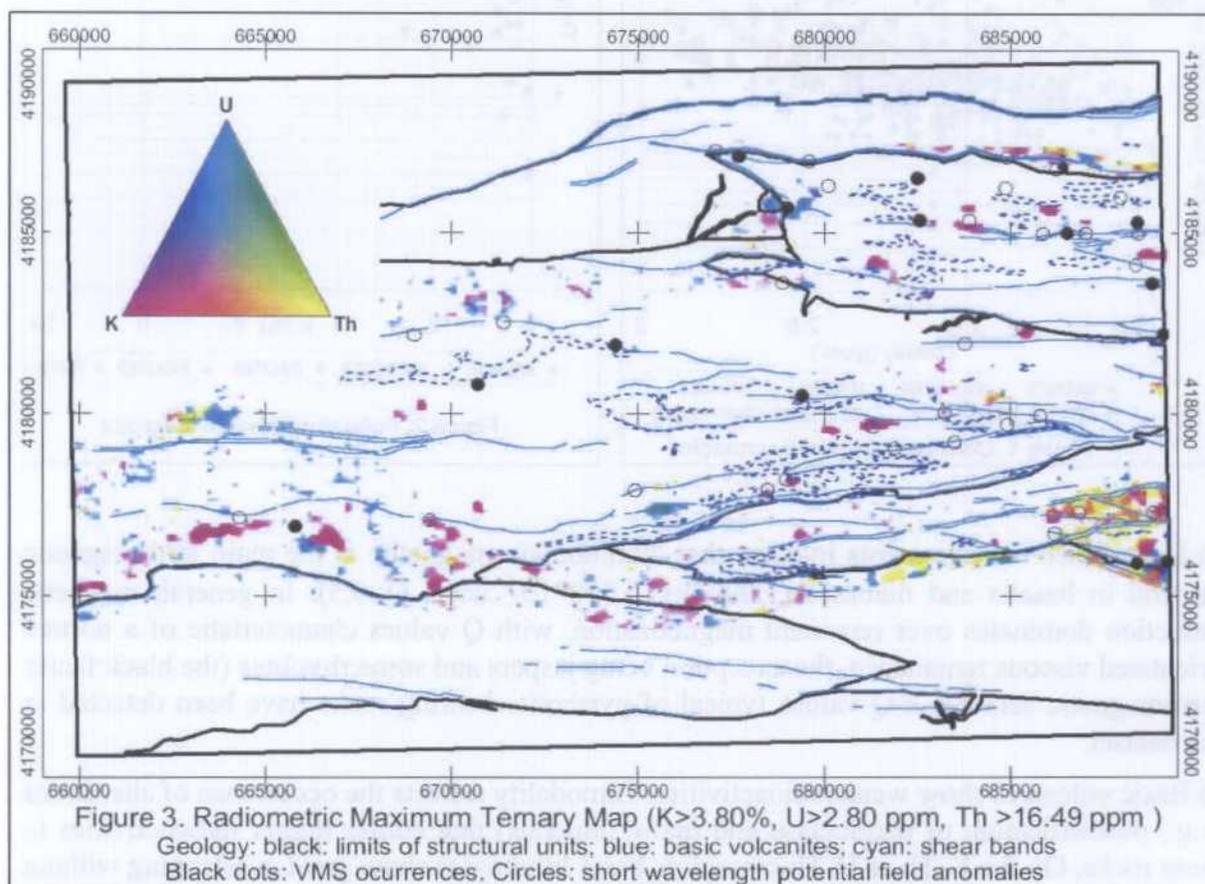
5) Basic volcanics show weak radioactivities. Bimodality reflects the occurrence of alterations (e.g., potassification of plagioclase and mafic minerals) that confer higher radioactivities to these rocks. On the K - Th or U - Th crossplots basic lithologies show great overlapping without separated trends. This makes any lithology of the basic volcanic set indiscernible from each other in the airborne radiometric maps. On these images andesites, basalts and diabases mostly exhibit low-intensity tones; tones of intermediate intensity can be useful for detecting altered areas, of prospective interest if they can be related to other geophysical anomalies, established structural controls, or gossan areas.

6) Dacites appear on low radioactivity areas in the ternary airborne radiometric map, similar to those occurring over andesites, so it is usually not possible to differentiate dacites from andesites in Andesitic-Dacitic Formations. Rhyolites are the most radioactive volcanic rocks, showing great heterogeneity, with several modes in the histograms. In the space K - Th , typical dacites ($1.3 < \%K < 2.8$), acid tuffs, and rhyolites of $K < 5\%$, display increasing radioactivity within a common trend that reflects their genetic relationship. Rhyolites are nearly always easily discernible from dacites. Although acid tuff radioactivity on the ground data tends to be high, there are wide areas of these rocks on the geological maps with low-moderate emissions in the radiometric images.

It is worth noting that there are several samples with very high values in potassium ($K > 6\%$), that lie close to shear bands; this location of potassifications is typical of tuffs and rhyolites (hydrothermalised rocks). Extreme values are well separated in the K - Th diagram. On ternary

maps, these values are clearly associated with thrust and shear band systems and concentrate on areas of VMS occurrences (Figure 3).

7) As acid volcanics, metasedimentary rocks display a wide spectrum of radiometric values, showing increasing radioactivities from sandstones to schists, through greywackes and slates. Radioactive histograms of greywackes suggest a tendency to bimodality, with a group of intermediate radioactivity, similar to sandstones, and another more radioactive, similar to slates. Slates and schists are the most radioactive rocks of the NW Domain of IPB, displaying strong radiometric contrasts with the volcanic set in airborne maps.



Conclusions

1) Volcanic rocks of IPB show a wide range of radioactivities and densities from acid to basic terms, and a typical bimodal (or even polymodal) susceptibility distribution in both groups, acid and basic volcanics, delineating two well defined trends, either paramagnetic or ferromagnetic. Bimodality and range overlapping is also typical of radioelement contents. This fact does not facilitate radiometric interpretations, making ground measurements an unavoidable task.

2) An outstanding feature of ground radiometric data refers to extreme values, very well separated in the K-Th diagram. In particular, spectacular potassifications occur in rhyolites and acid tuffs located close to thrust limits and shear bands, that clearly control them. These potassifications constitute a good guide of VMS deposit prospectivity.

3) A compact set of physical properties is now available for the geological interpretation of airborne and ground surveys in a characteristic mining area. The petrophysical database constitutes an outstanding reference for any study and modelling of the rocks in the NW Domain of IPB by means of natural gamma radiation and potential fields.

Z-99 Massive sulphides search at the Iberian Pyrite Belt: potential fields and neural analysis

CONXI AYALA, JOSE L. GARCIA-LOBON, GUILLERMO ORTIZ AND EVA FERNANDEZ
Instituto Geológico y Minero de España (IGME), Madrid, Spain. c.ayala@igme.es

Summary

The objective of this work is to present some results of a regional exploration project for massive sulphides in the Northwestern domain of the Iberian Pyrite Belt (IPB, SW Spain) achieved using the available regional geophysical and petrophysical data that have been integrated in a GIS-based neural algorithm. These data includes high resolution ground gravity plus airborne magnetic and radiometric surveys carried out at the IPB during the past ten years. All datasets are incorporated into the GIS-based neural algorithm, that adds flexibility to the process of qualitative and quantitative analysis. The output of this algorithm is the favorability map, that allows to evaluate and define areas of possible occurrence of massive sulphides, which might be suitable for the development of new mining prospects.

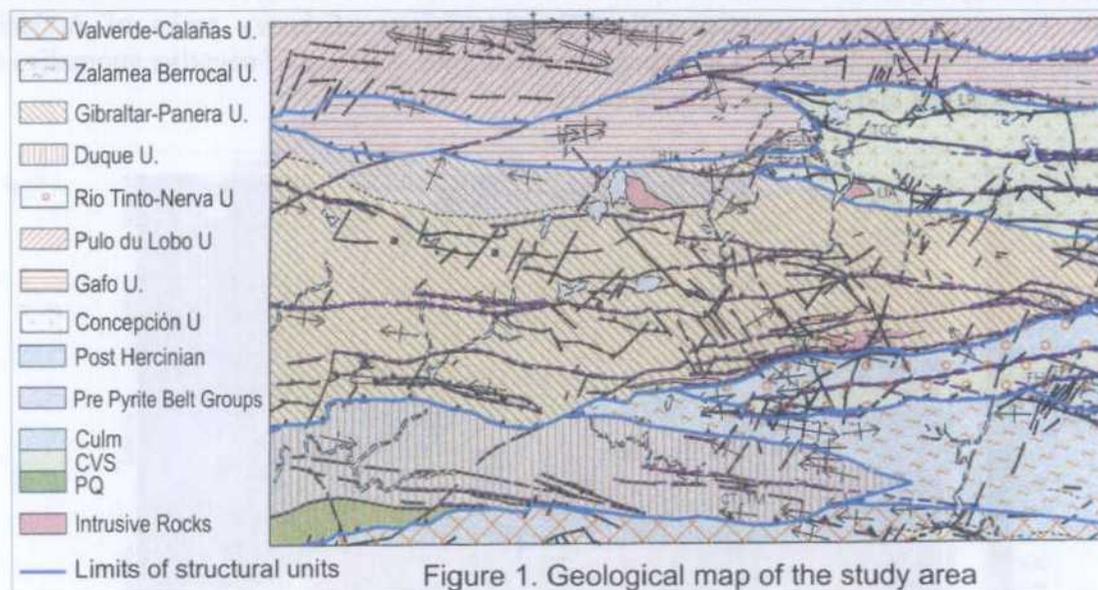


Figure 1. Geological map of the study area

Introduction

The Iberian Pyrite Belt (IPB) is one of the largest and most important provinces of volcanogenic-metallogenic massive sulphide deposits (VMS) in the world with more than twenty centuries of mining activity. The area has been extensively explored for VMS and a complete coverage of high resolution ground gravity and airborne magnetic and radiometric data as well as an extense petrophysical and geochemical database is available. Using these data, IGME (Geological Survey of Spain) has recently completed an integrated project for the geological and metallogenical study of the NW domain of the IPB. This area can be considered, in geological, metallogenical and mining activity terms, as representative of the

whole IPB. This project incorporates, for one of the first times in Spain, the use of a neural algorithm applied to the investigation of the mining potential.

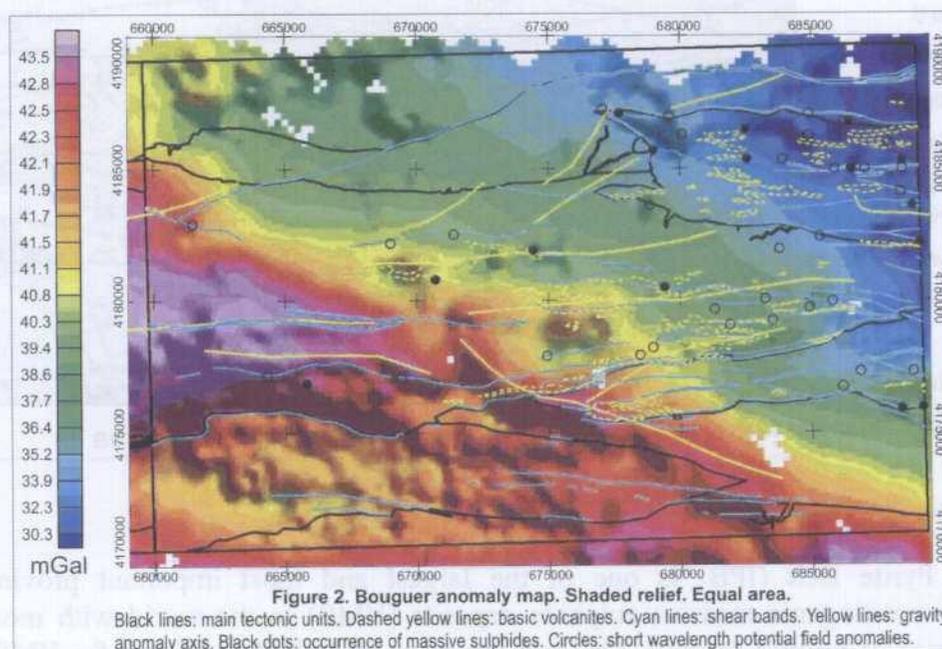
One of the main objectives achieved is the advancement in the ore body searching by means of a multiparametric modelling based on the processing and interpretation of geophysical images and transformations of the potential fields and radiometric data.

Geological setting

Main lithologies in the geological map (Figure 1) comprise: (1) Late Devonian marine platformal sequences consisting of quartzites, greywackes and slates. They are represented in Gafo Unit and the so-called PQ group of Duque Unit; (2) A Lower Carboniferous Volcano-Sedimentary Complex (CVS), cropping out in Gibraltar-Panera, Concepción and the SE part of Rio Tinto Units. Volcanites consist of basaltic, andesitic and rhyolitic materials with pyroclastites and lava, interstratified in a pelite-black shale and sandstone sequence with beds of jasper; and, (3) A Middle-Upper Carboniferous thick turbidite formations of greywackes and slates known as Culm group, present in the rest of the Units. The massive sulphides are hosted by the CVS sequence, either directly in the black shale, or resting on acidic volcanic facies albeit commonly separated by a thin pelitic layer.

Geophysical images

The Bouguer anomaly map (Figure 2) is dominated by a regional gradient NW-SE with a band of relative minimum mainly over the Concepción Unit (30-35 mGal), and another band of relative minimum over the Duque Unit (37-40 mGal). The central part of the area (S of Zalamea-Berrocal and Rio Tinto-Nerva Units and SW of Gibraltar-Panera Unit), is characterised by an arcuated band of relative maximum (43-45 mGal), that broadens towards the W. Positive gravity anomalies reflect the occurrence of heavy rocks of Andesitic Formations and their imbrications with basaltic lithologies. Sources of negative anomalies are light acid volcanites and metasedimentary rocks.



The reduced to pole (rtp) total magnetic field (Figure 3) is characterised by a superposition of E-W magnetic anomaly bands of different wavelength. The broader maximum is located over the Gibraltar-Panera and Rio Tinto-Nerva Units, with a narrower and more intense band of maximum on top, that delineates the limit between these units and Duque and Zalamea-Berrocal ones. An arcuated band of prominent maximum is spatially coincident with the long

wavelength gravity minimum that characterises Concepción Unit. Magnetic anomalies constitute a good tool for mapping the ferromagnetic basic materials, clearly suggesting the full extension of basaltic-dabase sills only partially represented in the geological map. Acid volcanites and metasedimentary rocks are mainly paramagnetic.

Identification of potential interest areas

Identification of the possible occurrences of new VMS deposits in the study area has been carried out using two techniques: a) Analysis of the potential fields, its mathematical transforms and its relationship with the petrophysical data (García-Lobón and Ayala, 2004). The interpretation of these geophysical images has been performed incorporating information of the main volcanic units, shear zones and the main gravity anomaly axis; and b) Use of the GIS-based neural algorithm of radial basis functional link net (RBFLN; Looney, 2002). This has been performed by selecting some geophysical maps that, once preprocessed and reclassified into classes that did not have any relation to the database of mining works, were fed into the GIS-based RBFLN to obtain a favorability map.

In the GIS-based neural algorithm, a selection of geophysical and geological data (including structural lineaments from radiometric interpretation and satellite images as well as synthesis of available 1:50000 geological maps, modified according to the results of the petrophysical-geophysical interpretation) were processed to generate evidential maps, which subsequently were encoded and combined to derive a set of input feature vectors. The geophysical maps used in the RBFLN are derivatives of the residual Bouguer anomaly and rtp total magnetic field, obtained after applying high pass gaussian filters. A subset of feature vectors with known targets (known mineralised or barren locations) was extracted to be used as a training data set. A series of RBFLNs were trained to determine the network architecture and estimate the parameters that mapped the maximum number of validation vectors correctly to their respective targets. The trained RBFLN that gave the best performance for the validation data set was used for processing all feature vectors. The output for each feature vector is a predictive value between c. 1 and c. 0, indicating the extent to which a feature vector belongs to either the mineralised or the barren class. These values were mapped to generate a predictive classification map (Figure 4).

Results and conclusions

In the NW domain of the IPB, most of the occurrences and deposits of VMS appear over anomalous potential field areas of complex origin, which makes difficult to isolate the contribution from the anomalous body of the deposit (if it exists). In general, high amplitude (tens-hundreds of nT and several mGal) long and intermediate wavelength magnetic and gravimetric anomalies can be mainly attributed to basaltic or intermediate rocks (the later, in terms of gravity only). Such anomalies can mask the response of local sources, of smaller wavelength and intensity (tens of nT and 0.5-1 mGal) that can be attributed to the deposits or the occurrences. Although the most conspicuous short wavelength ($\lambda < 2$ km) magnetic and gravimetric anomalies take place along the gravity axis originated from basic volcanites, when comparing the potential field maps with the surface geology, there are an important number of anomalies that are not directly related to that type of rocks.

Ferromagnetic jaspers of CVS produce high amplitude, short wavelength magnetic anomalies that point out the occurrence of prospective volcanic and epiclastic rocks under the sedimentary cover. Although in some cases there is not a clear connection between the jasper-like anomalies and the VMS occurrences or deposits in the study area (García-Lobón and Ayala, 2004), the same pattern of magnetic anomalies are clearly associated to deposits as S. Telmo and Lomero-Poyatos. There is an important structural control over the location of the ore body occurrences: they take place in the vicinity of major structural boundaries (e.g., 19 out of 24 occurrences take place in or near thrust or shear zones). On the whole, the VMS

occurrences coincide with magnetically active areas and the majority are located close to shear zones or thrusts: 16 out of 19 in Gibraltar-Panera and Concepción Units. The favorability map indicates that the most favourable areas (values higher than 0.766) correspond to these Units. Almost 70% of the area with VMS occurrences or deposits is characterised by values higher than 0.964.

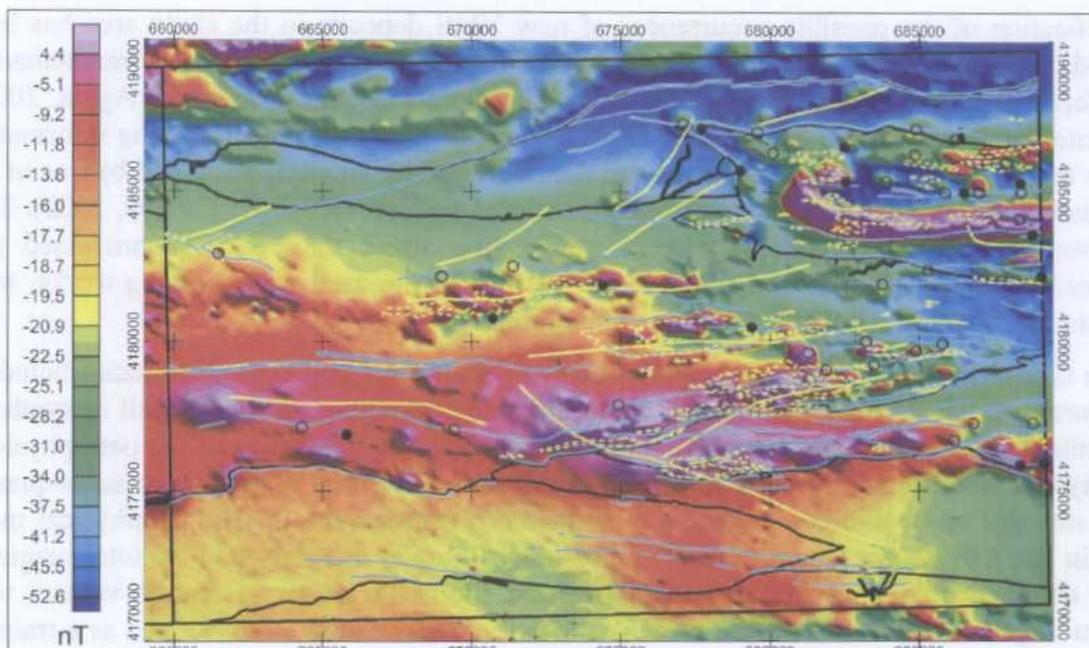


Figure 3. Reduced to pole total magnetic field. Shaded relief. Equal area.

Black lines: main tectonic units. Dashed yellow lines: basic volcanites. Cyan lines: shear bands. Yellow lines: gravity anomaly axis. Black dots: occurrence of massive sulphides. Circles: short wavelength potential field anomalies.

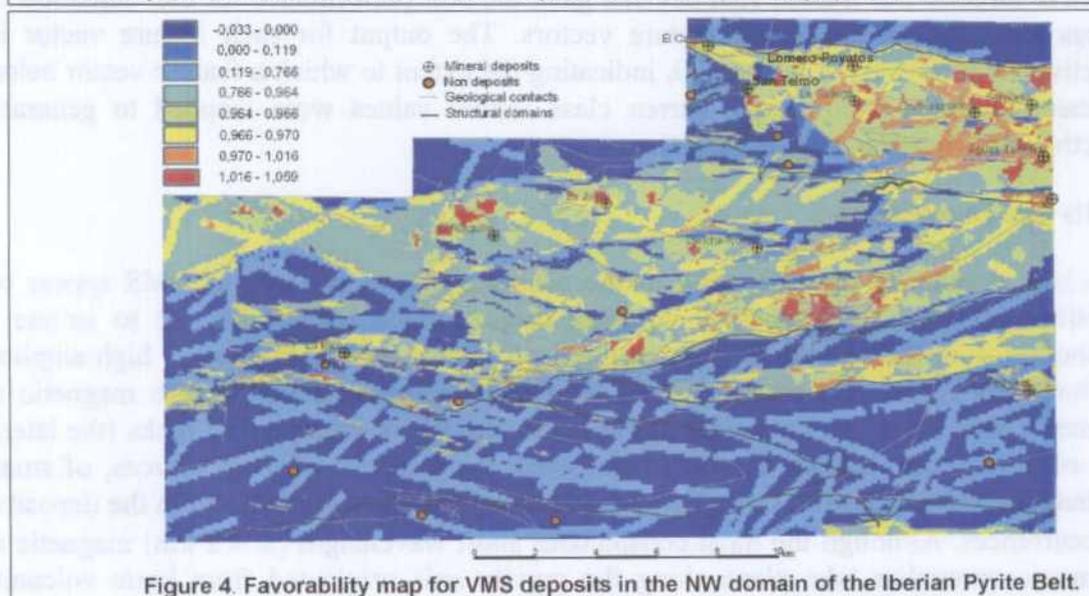


Figure 4. Favorability map for VMS deposits in the NW domain of the Iberian Pyrite Belt.

References

García-Lobón, J.L. and Ayala, C., 2004, Petrofísica, Aeromagnetismo, Radiometría y Gravimetría: Exploración Regional y Delimitación de Zonas Anómalas en el Dominio Noroccidental de la Faja Pirítica. IGME Technical Report 589 (In Spanish). CD- Rom 157.

Looney, C. G., 2002, Radial basis functional link nets and fuzzy reasoning. *Neurocomputing*, vol. 43, no. 1-4, pp. 489-509.