



ABRIR CAPÍTULO 3

Interpretación.

4.- Interpretación.

4.1.- Mapa de anomalías de Bouguer : análisis cualitativo.

De la observación conjunta del mapa geológico (Mapa 1) a escala 1:100.000, y del mapa de anomalías de Bouguer (Figura 4.1) en el que se han representado los contornos de los cuerpos graníticos principales, se obtiene una primera aproximación del significado geológico de las anomalías gravimétricas más importantes de la zona de estudio.

En primer lugar, el mapa de anomalías de Bouguer muestra una buena correlación a escala regional con la geología conocida del área de estudio. Se observan una serie de mínimos gravimétricos relativos que por su forma y posición, coinciden e individualizan los diferentes plutones graníticos existentes. Así mismo, el mapa presenta una serie de máximos relativos, claramente relacionados con los materiales metasedimentarios del CEG o con los materiales paleozoicos aflorantes en la zona de estudio. Por último, se observan una serie de áreas de "carácter mixto", de difícil interpretación y que deben estar relacionadas por la posición que ocupan, con cuerpos intrusivos de mayor densidad, y/o con cuerpos intrusivos subaflorantes y probablemente desenraizados, ya que estas áreas combinan la existencia de máximos y mínimos en principio dispuestos de forma aleatoria.

Los mínimos relativos A y C (Figura 4.1), situados sobre los plutones de Trujillo y Albalá, presentan unas características comunes. Tienen una forma elongada en dirección N-S, y ambos presentan dos mínimos relativos de menor longitud de onda dentro de ellos. Estos mínimos relativos fueron interpretados por Audrain et al., (1989) y Vignerresse

(1990 y 1995 a y b) en el batolito de Cabeza de Araya (fuera del área de estudio) como zonas de enraizamiento del plutón o conductos de alimentación. No obstante, también pueden ser debidas a la existencia de facies menos densas en la zona de mínimo, lo que es muy posible ya que los plutones son en realidad poliintrusivos.

Los mínimos relativos B y D se sitúan sobre el batolito de Cabeza de Araya por una parte, y sobre los granitos que conforman los plutones de Sierra Bermeja y Aljucén en el área de Mérida por otra. Por último, el mínimo relativo E, corresponde a la deficiencia de masa generada por el plutón de Alijares, el cual presenta una anomalía de gran intensidad.

Las zonas que se han denominado de carácter mixto son áreas de difícil interpretación. Su característica principal es que aunque son zonas de mínimos relativos, no delimitan con exactitud los cuerpos intrusivos sobre los que se sitúan (Zonas I, II y III en la Figura 4.1) y además combinan la existencia de mínimos y máximos gravimétricos de difícil interpretación geométrica, la cual se abordará en la interpretación del mapa de anomalías residuales de Bouguer (apartado 4.4).

Las zonas de máximos gravimétricos relativos, que se sitúan al N, NE, OSO y SE (Zonas 1, 2, 3 y 4 respectivamente - Figura 4.1) del mapa de anomalías de Bouguer explican en términos geológicos, el exceso de masa causado por los materiales metamórficos, bien pertenecientes al CEG (pizarras y grauvacas), o bien al Paleozoico (alternancias de cuarcitas y pizarras).

Los máximos relativos 1 y 2 situados al N y NE del área de estudio corresponden claramente a las rocas del CEG que afloran en estas zonas, sin embargo, el máximo relativo 3, situado al OSO del mapa de anomalías de Bouguer, se correlaciona posicionalmente con los materiales paleozoicos aflorantes de la Sierra de San Pedro y su prolongación hacia el SE. Probablemente, la intensidad de este último máximo relativo viene condicionada por la existencia de rocas básicas interestratificadas en esta serie paleozoica, lo que da lugar a un considerable aumento del contraste de densidad con las rocas del CEG.

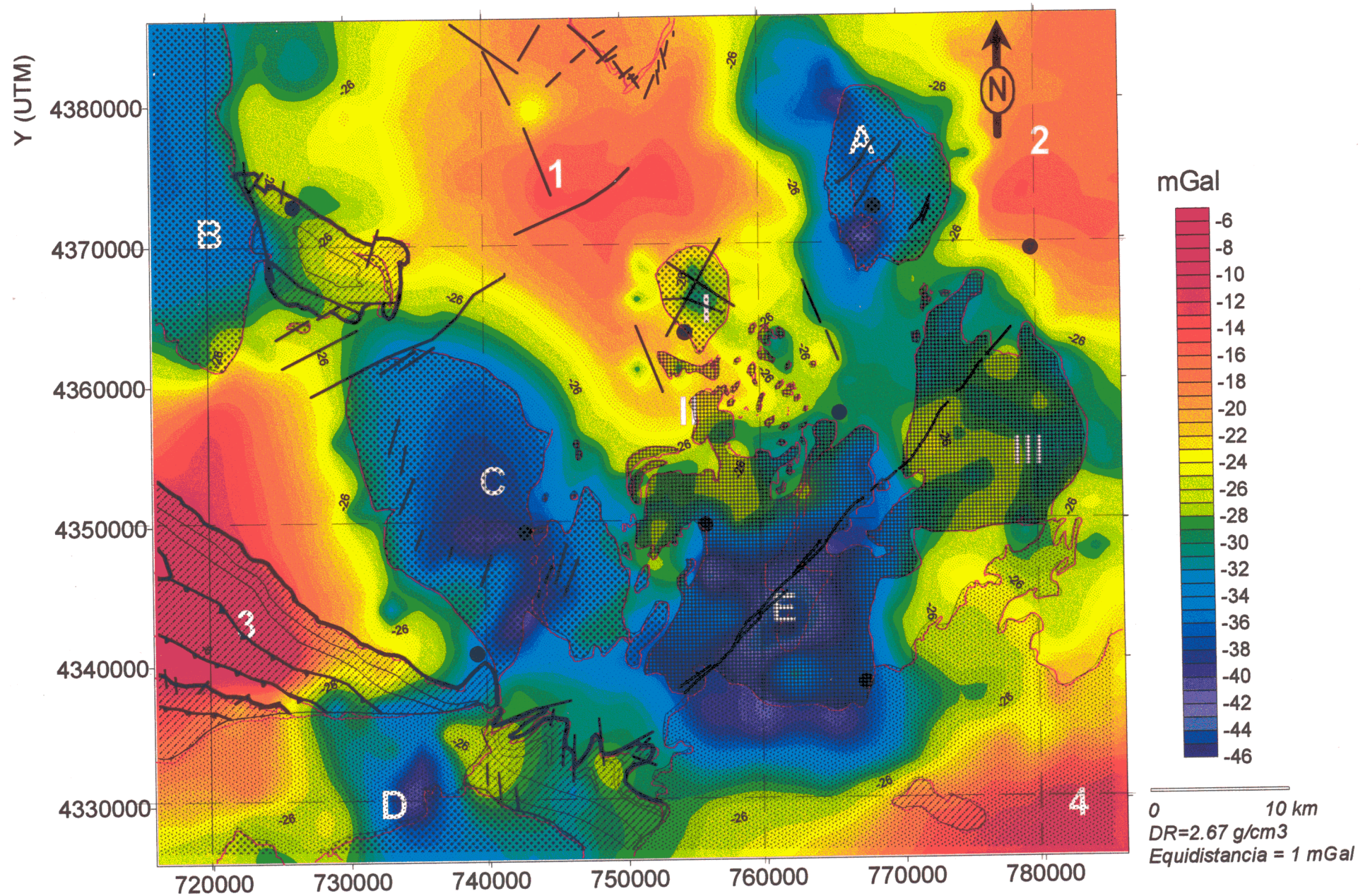


Figura 4.1.- Mapa de anomalías de Bouguer y contactos geológicos simplificados. X (UTM)
Las letras y números corresponden a la explicación en el texto de la sección 4.1.

El máximo relativo 4 situado en el borde SE del mapa, representa una superposición de efectos; y es que al efecto positivo que causan los materiales metamórficos del CEG, y los materiales paleozoicos que afloran en retazos en esta zona siguiendo una directriz hercínica ONO-ESE, se le superpone el efecto negativo de los materiales terciarios y cuaternarios de la Cuenca del Guadiana, y que en cualquier caso, presentan anomalías negativas dada su menor densidad con respecto a los materiales metamórficos. No obstante, este recubrimiento no debe tener gran espesor, ya que no es capaz de enmascarar la anomalía positiva generada por los materiales metamórficos.

Para profundizar en la interpretación de las anomalías gravimétricas presentes en la zona de estudio, hemos procedido en primer lugar, al aislamiento de las anomalías residuales mediante la separación de la tendencia regional (apartado 4.2) y en segundo lugar, a un estudio de detalle de las densidades de los materiales que van a contribuir a la anomalía gravimétrica (apartado 4.3). Ambos aspectos se exponen a continuación, y nos llevan a un análisis cualitativo detallado del mapa de anomalías residuales de Bouguer que se expone en el apartado 4.4 de este mismo capítulo.

4.2.- Separación regional – residual.

Las observaciones realizadas en campo y posteriormente procesadas para la obtención del mapa de anomalías de Bouguer, contienen el efecto integrado de todas las masas terrestres, de forma que una anomalía consta de dos componentes; una componente de gran amplitud de onda o baja frecuencia, denominada anomalía regional, y otra de baja amplitud de onda o alta frecuencia, denominada anomalía residual.

La residualización o separación de estas dos componentes, consiste en predecir los efectos regionales y encontrar las anomalías locales (residuales) restando los efectos regionales predichos. El objetivo de la residualización es obtener un mapa idóneo para definir la geometría de todas las unidades geológicas aflorantes o subaflorantes.

Los métodos de residualización son muchos, pero existen dos categorías genéricas; 1) métodos gráficos y 2) métodos matemáticos; ambos tienen sus ventajas y desventajas. Los métodos gráficos se aplican en perfiles y/o mapas de contornos. Tienen el problema de que son métodos subjetivos y empíricos, pero también son flexibles en la estimación de aquellos factores geológicos que pueden ser tenidos en cuenta a priori en el trazado del regional. Por el contrario, los métodos matemáticos minimizan la subjetividad o predisposición de criterios, aunque siempre existe un cierto grado de subjetividad, por ejemplo, en la elección de la técnica matemática a aplicar.

La separación de las componentes regional y residual de una anomalía no es una solución única, a menudo es ambigua y constituye un objetivo difícil de alcanzar con éxito, si no se integran las técnicas gráficas y matemáticas, con los criterios geofísicos y geológicos.

Entre las técnicas matemáticas más utilizadas, se encuentra el cálculo directo de residuales, el cálculo de la segunda derivada, el método de continuación de campo hacia abajo, el filtrado de datos y el ajuste de superficies polinómicas.

El método matemático seleccionado para la separación regional y residual en este trabajo, ha sido el de ajuste de superficies polinómicas. Este ajuste es una de las técnicas analíticas más flexibles y objetivas para determinar la anomalía regional, puesto que permite la separación de los datos de un mapa en dos componentes: una de naturaleza regional y otra de fluctuaciones locales, es decir, permite la separación de "tendencias regionales" y "anomalías locales". Esta tendencia puede ser definida como "una función lineal dependiente de las coordenadas geográficas para un grupo de observaciones compactas, en la cual el cuadrado de las desviaciones desde los datos a la tendencia se minimiza" (Davis, 1973).

Este método de residualización se basa en la definición de funciones polinómicas que se adaptan a la estructura del fenómeno. El ajuste polinómico proporciona un método para subdividir la variación de una propiedad en dos partes; la tendencia definida por la ecuación ajustada (regional) y las desviaciones de la superficie de tendencia (residual). Por esta razón, las superficies ajustadas se pueden utilizar como un filtro para aislar las anomalías correspondientes a determinados rasgos geológicos buscados (Davis, 1973; Mather, 1976).

El ajuste polinómico se ha realizado mediante la opción Trend de Gridzo, dentro del Paquete RockWare 7.0 (1991) de aplicaciones geológicas. Esta opción se ha utilizado para llevar a cabo un análisis de superficies, ajustándolas a un polinomio que puede ser de 1º a 6º grado. El programa genera automáticamente el valor de los coeficientes de las ecuaciones que definen las superficies de ajuste. El objetivo es encontrar la superficie que mejor se ajuste a la tendencia regional de nuestros datos puntuales, y así identificar y localizar áreas que muestren desviaciones, y poder aislar estas variaciones locales residuales. Como criterio general de selección, la superficie que se debe utilizar para cálculos posteriores, es la más plana posible, pero conservando un buen coeficiente de correlación con los datos experimentales. De esta forma, en la Tabla 4.1 se refleja el grado de ajuste (en porcentaje de correlación) de cada una de las superficies de 1º a 6º grado a los datos. Como puede observarse el ajuste de una superficie de 1º y 2º grado tiene un coeficiente de correlación muy bajo (24.6% y 36.4% respectivamente) lo que sugiere que deben ser rechazadas. Por el contrario, las superficies de 3^{er}, 4º, 5º y 6º orden se

correlacionan bien con los datos experimentales. Entre ellas, la superficie de 3^{er} grado, con un 62.1%, es la más plana, además de presentar un buen coeficiente de correlación por lo que esta superficie puede seleccionarse como tendencia regional de forma satisfactoria.

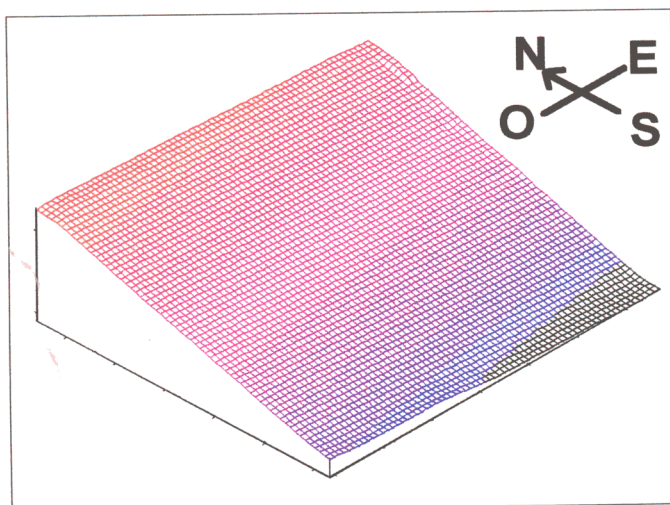
En la figura 4.2 se pueden observar gráficamente estas superficies de ajuste desde la más plana de grado 1 que representa una superficie buzando suavemente al S-SE, hasta la más compleja de 6º grado, con un gran parecido al mapa de anomalías observadas (85.4% de correlación).

GRADO	% CORRELACIÓN	CORRELACIÓN %										
		0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
1	24.6	XXXXXX										
2	36.4	XXXXXXXXXX										
3	62.1	XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX										
4	72.0	XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX										
5	81.0	XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX										
6	85.4	XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX										

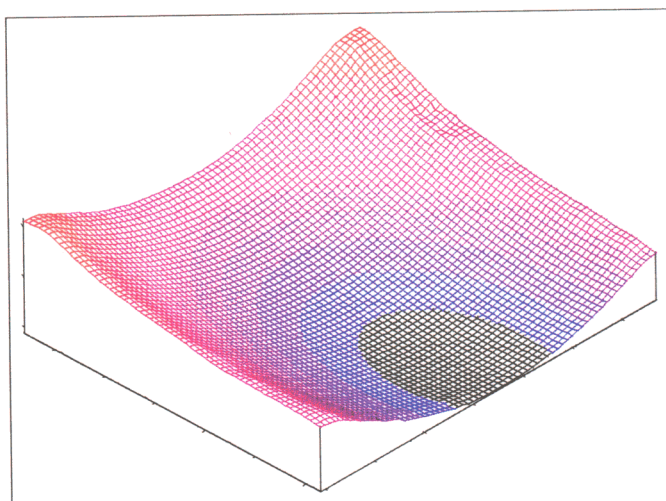
Tabla 4.1.- Grado de ajuste expresado en porcentaje de correlación de las superficies polinómicas de 1º a 6º grado.

Las figuras 4.3 a 4.8 son el resultado de la residualización por ajuste polinómico, es decir, se han obtenido de la sustracción de la tendencia regional de 1º a 6º orden, al mapa de anomalías de Bouguer, lo que da como resultado los diferentes mapas de anomalías residuales (Figura 4.9). Un análisis detallado de estos seis mapas residuales, nos lleva también a la determinación de la superficie de tercer grado, como regional más idóneo, ya que el mapa residual resultante es el que mejor se ajusta a la geología del área de estudio. No obstante, la observación y análisis de los restantes mapas residuales, suponen una ayuda a la interpretación y descripción cualitativa. Por ejemplo, se resaltan aquellas anomalías menores existentes en el área, según aumenta el grado del polinomio ajustado para la determinación de la tendencia regional.

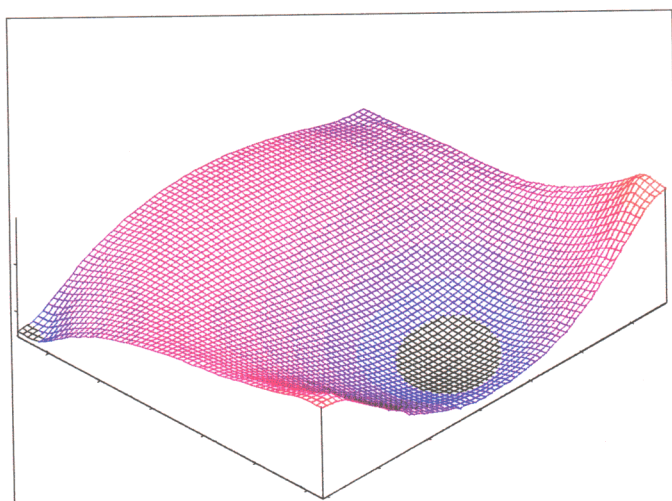
Todo ello, unido al conocimiento geológico de la zona, han corroborado la elección de la superficie de tercer grado como la más idónea para la obtención del mapa de anomalías residuales de Bouguer, para una



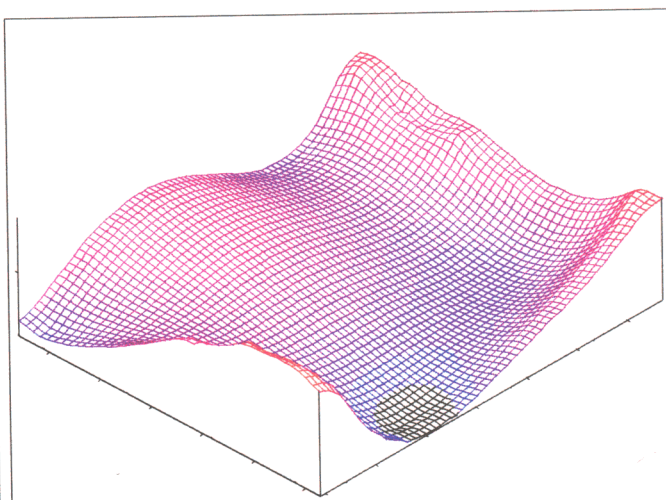
Regional de 1er grado.



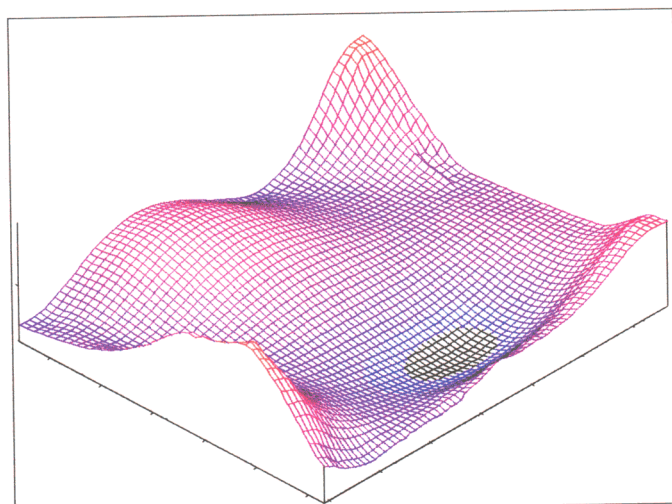
Regional de 2º grado.



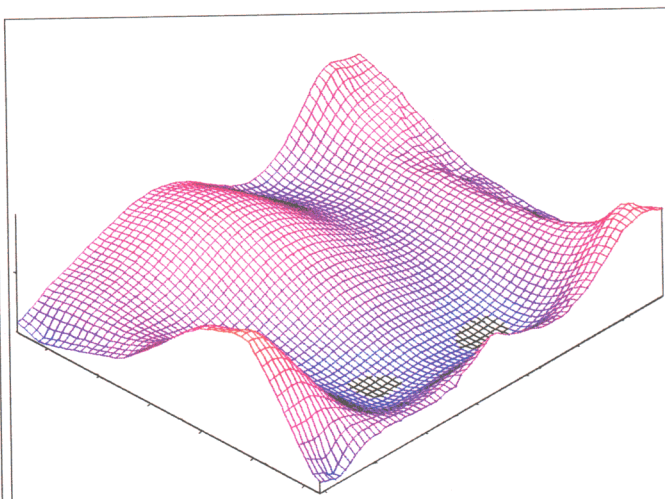
Regional de 3er grado.



Regional de 4º grado.



Regional de 5º grado.



Regional de 6º grado.

Figura 4.2 .- Superficies regionales de 1º a 6º grado calculadas mediante el método ajuste polinómico .

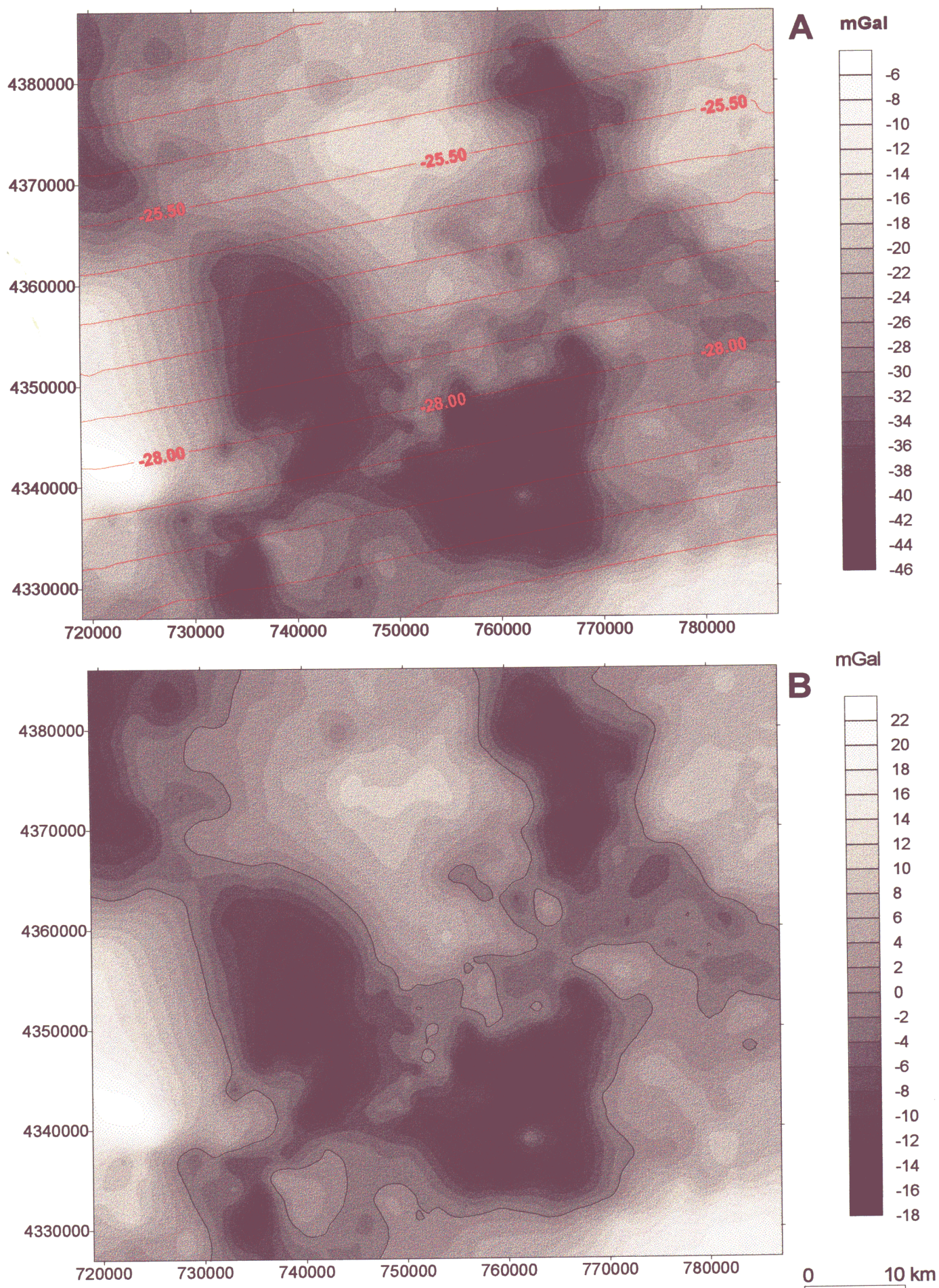


Figura 4.3.- Mapa de anomalías de Bouguer, regional de 1er grado (A) y residual calculado (B).

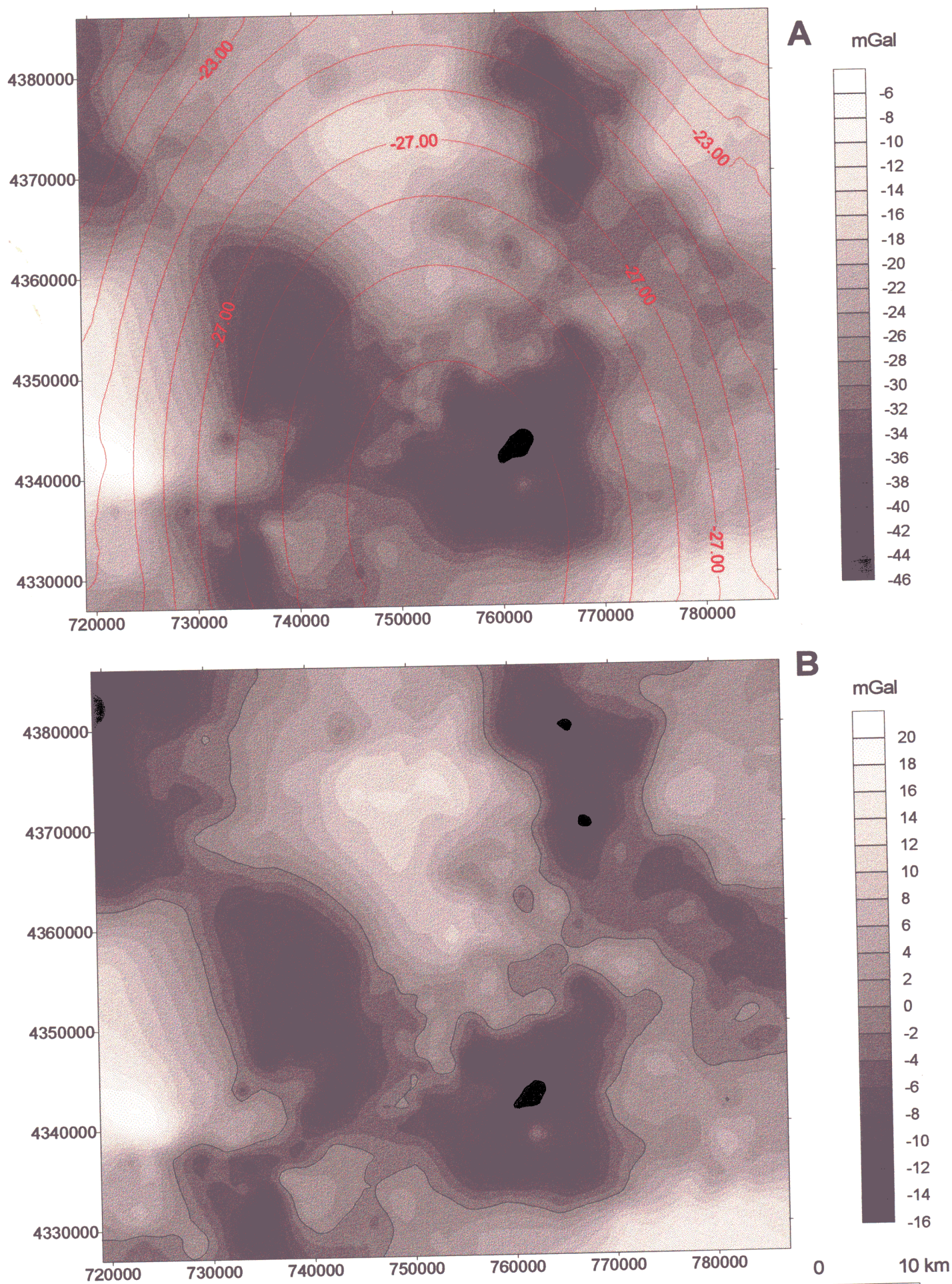
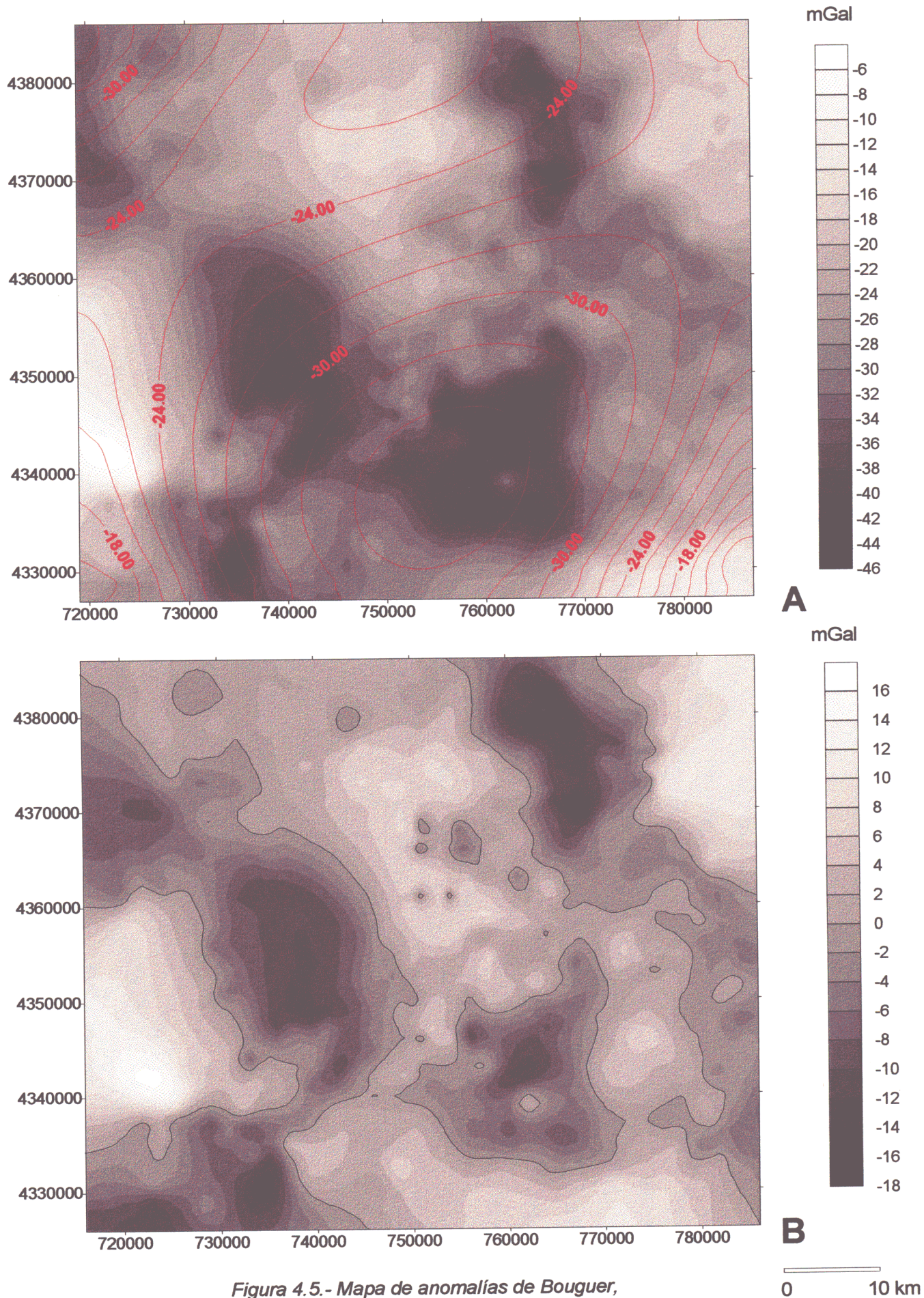
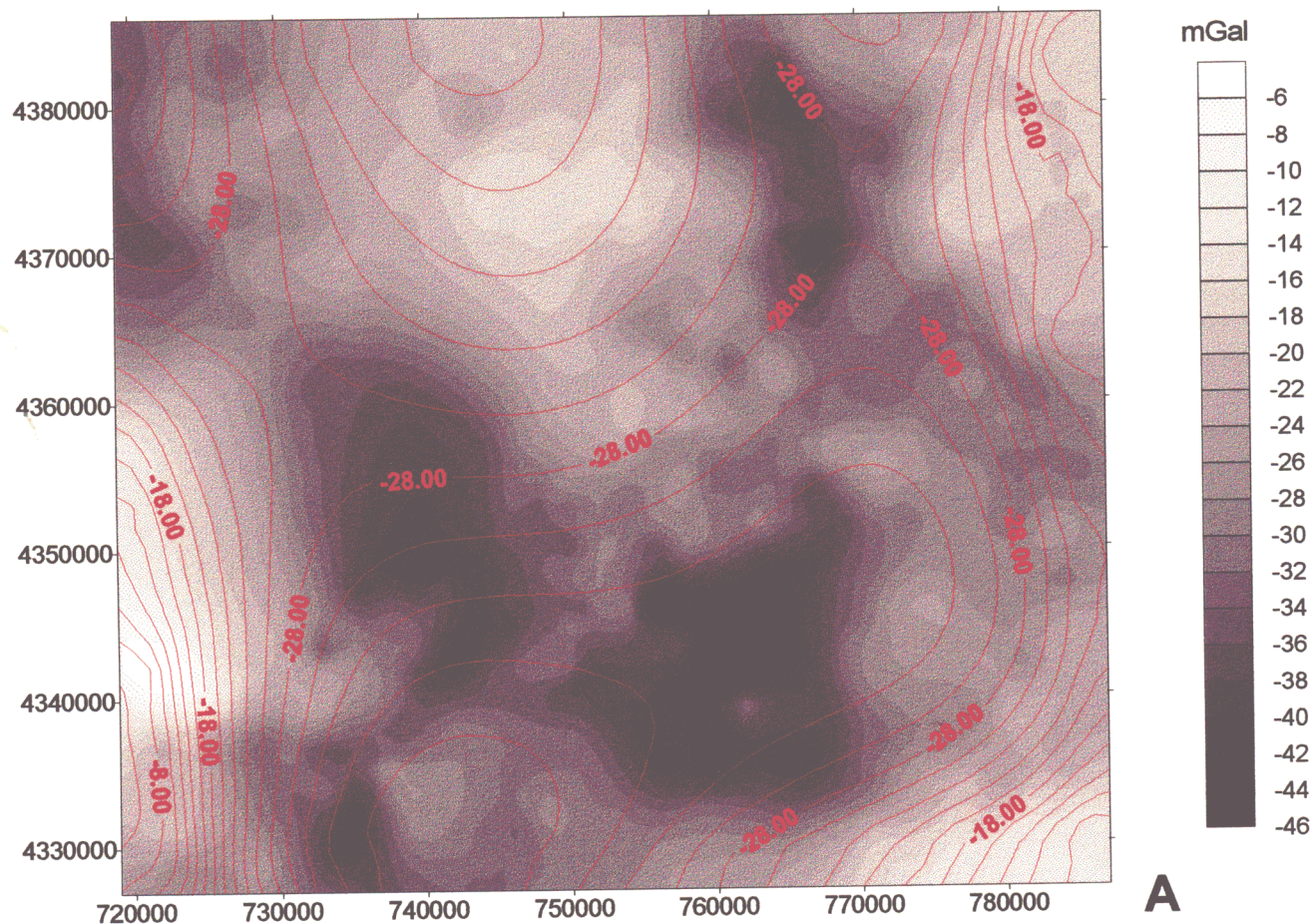
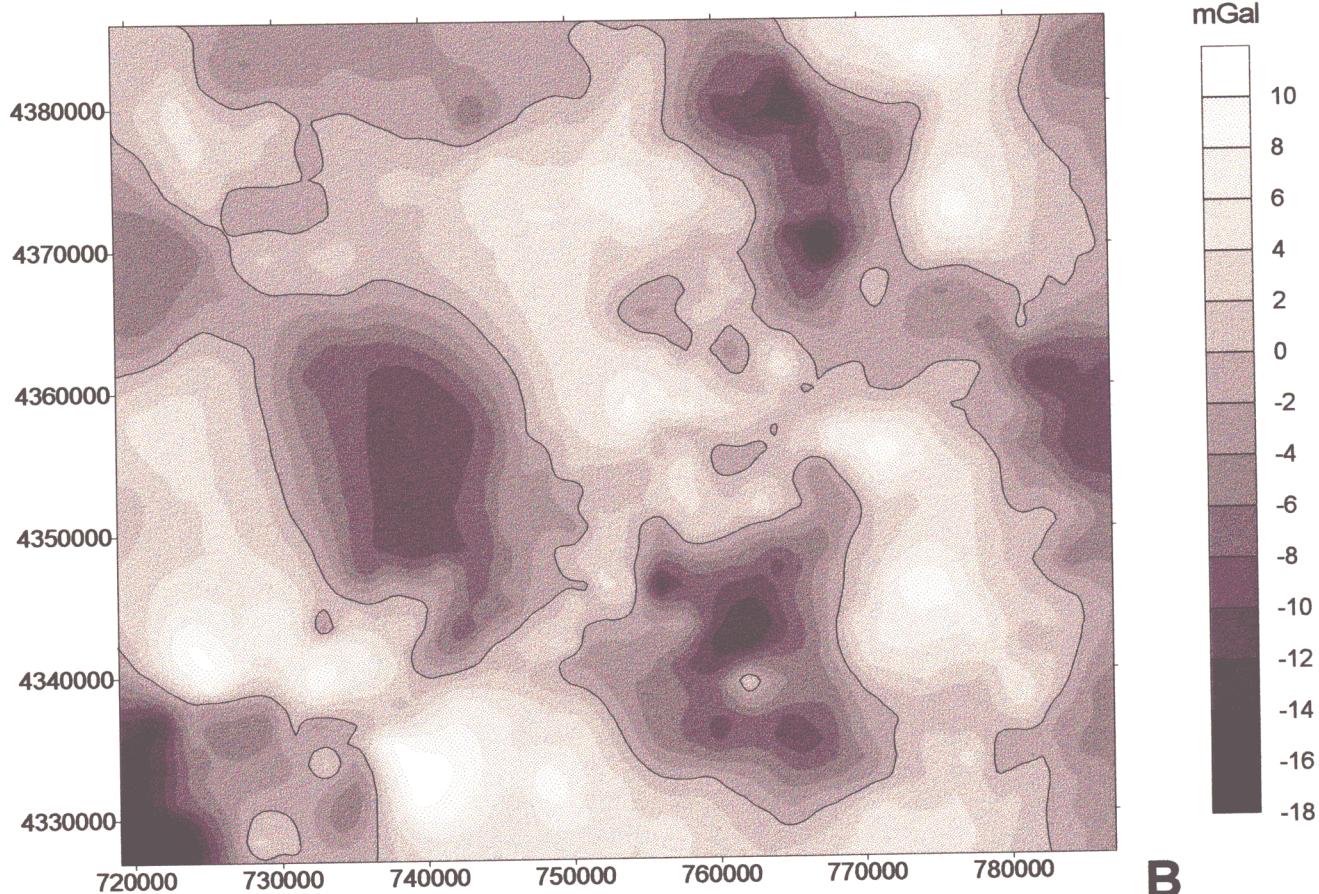


Figura 4.4.- Mapa de anomalías de Bouguer, regional de 2° grado (A) y residual calculado (B).





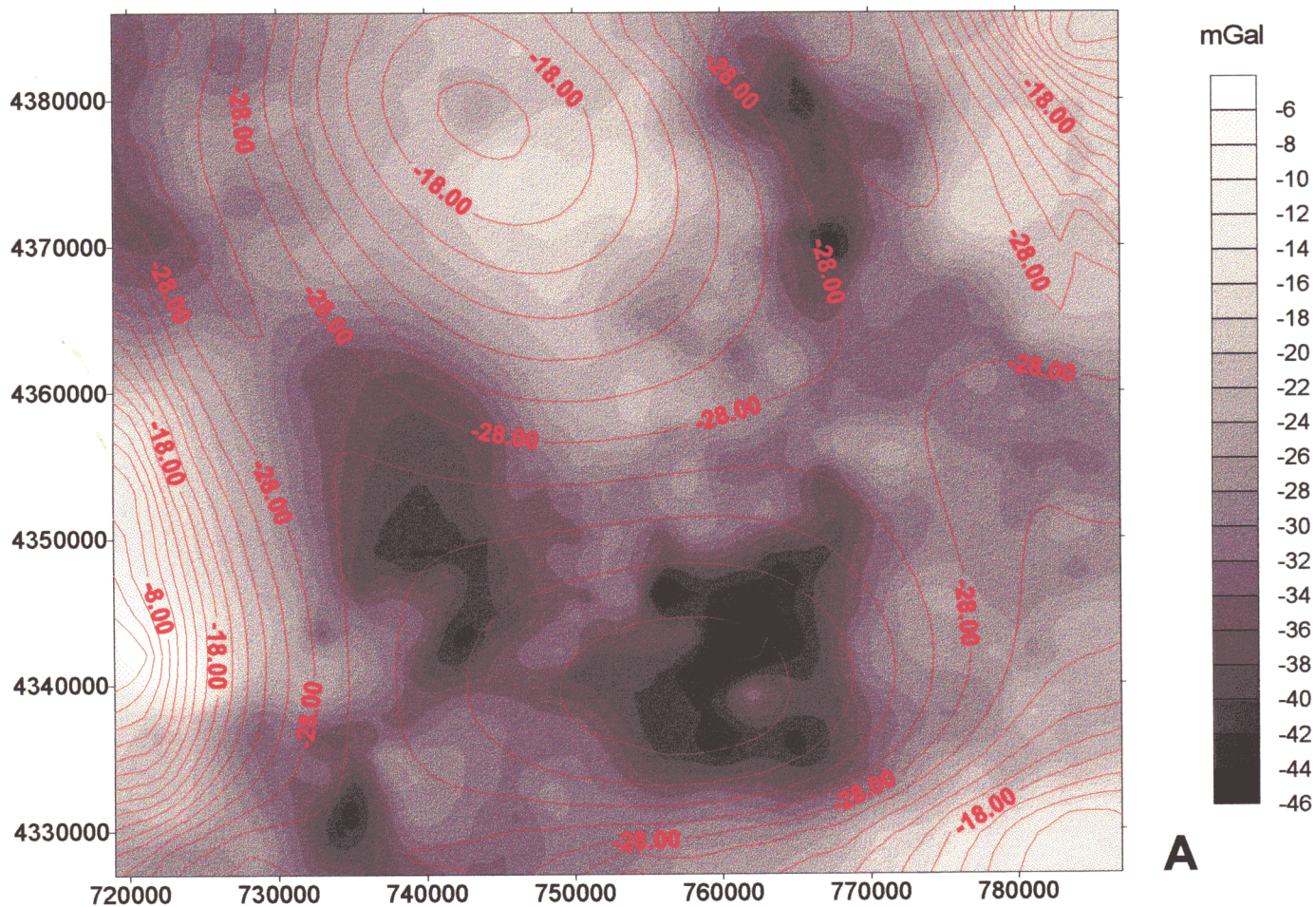
A



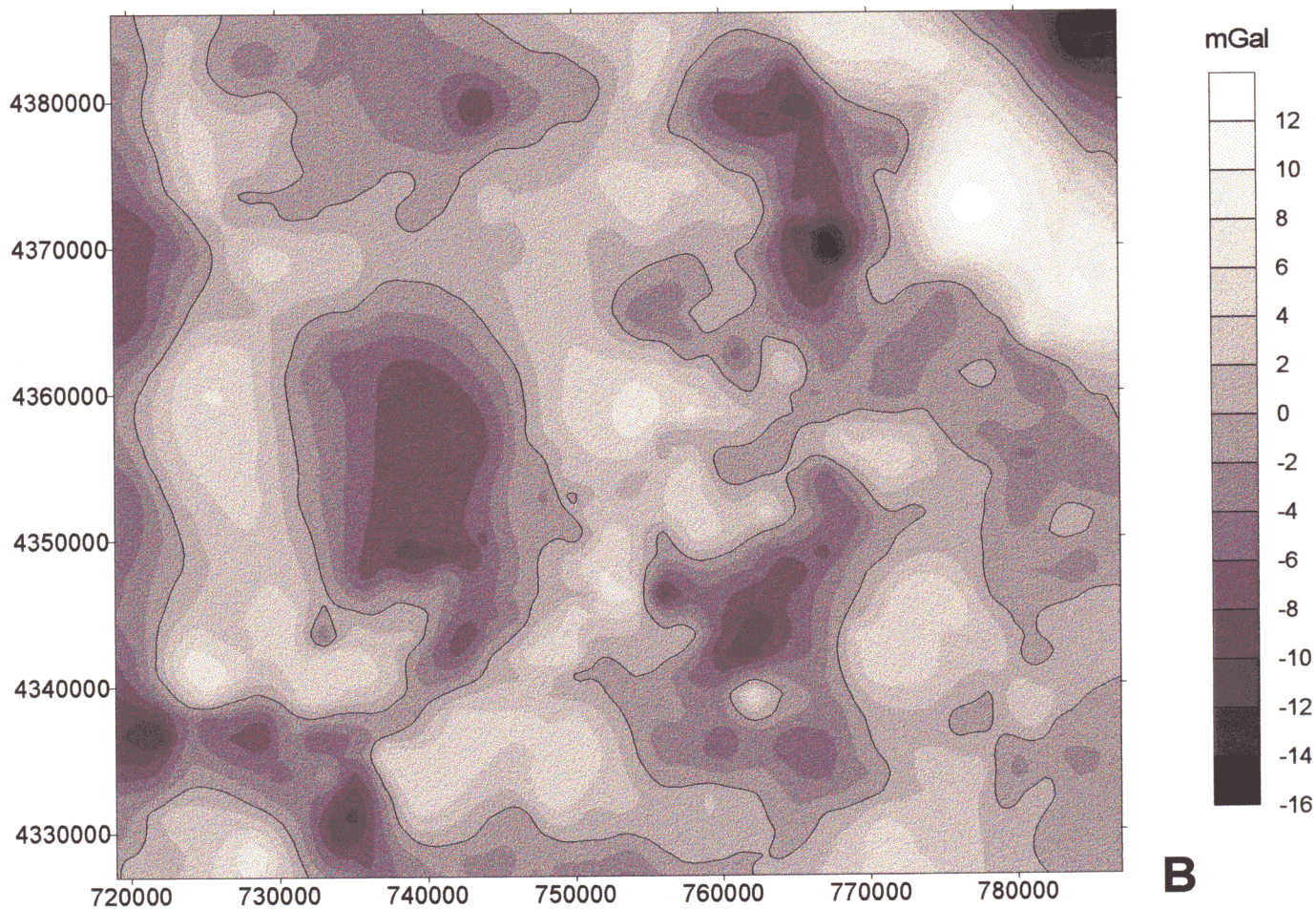
B

Figura 4.6.- Mapa de anomalías de Bouguer, regional de 4° grado (A) y residual calculado (B).

0 10 km



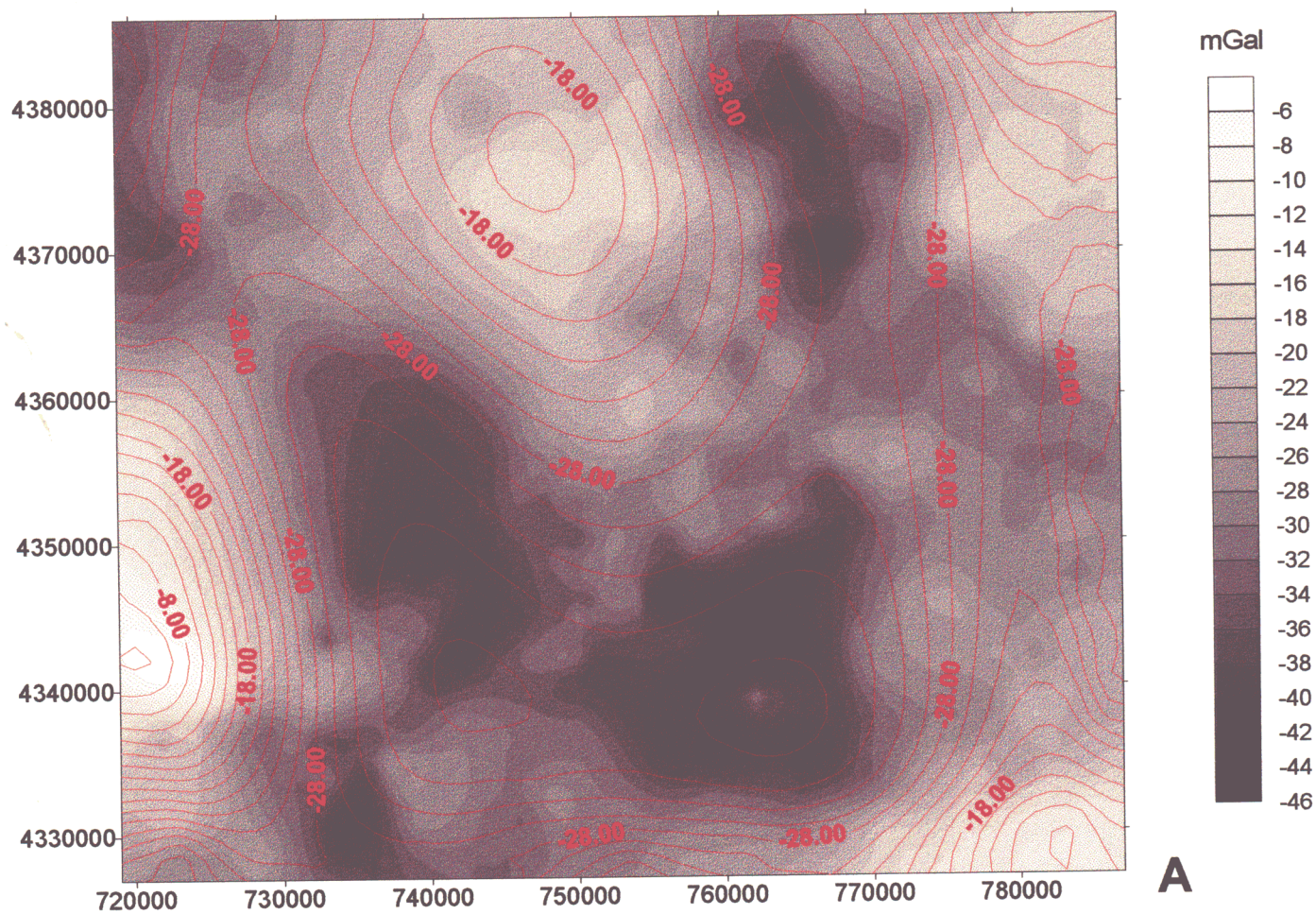
A



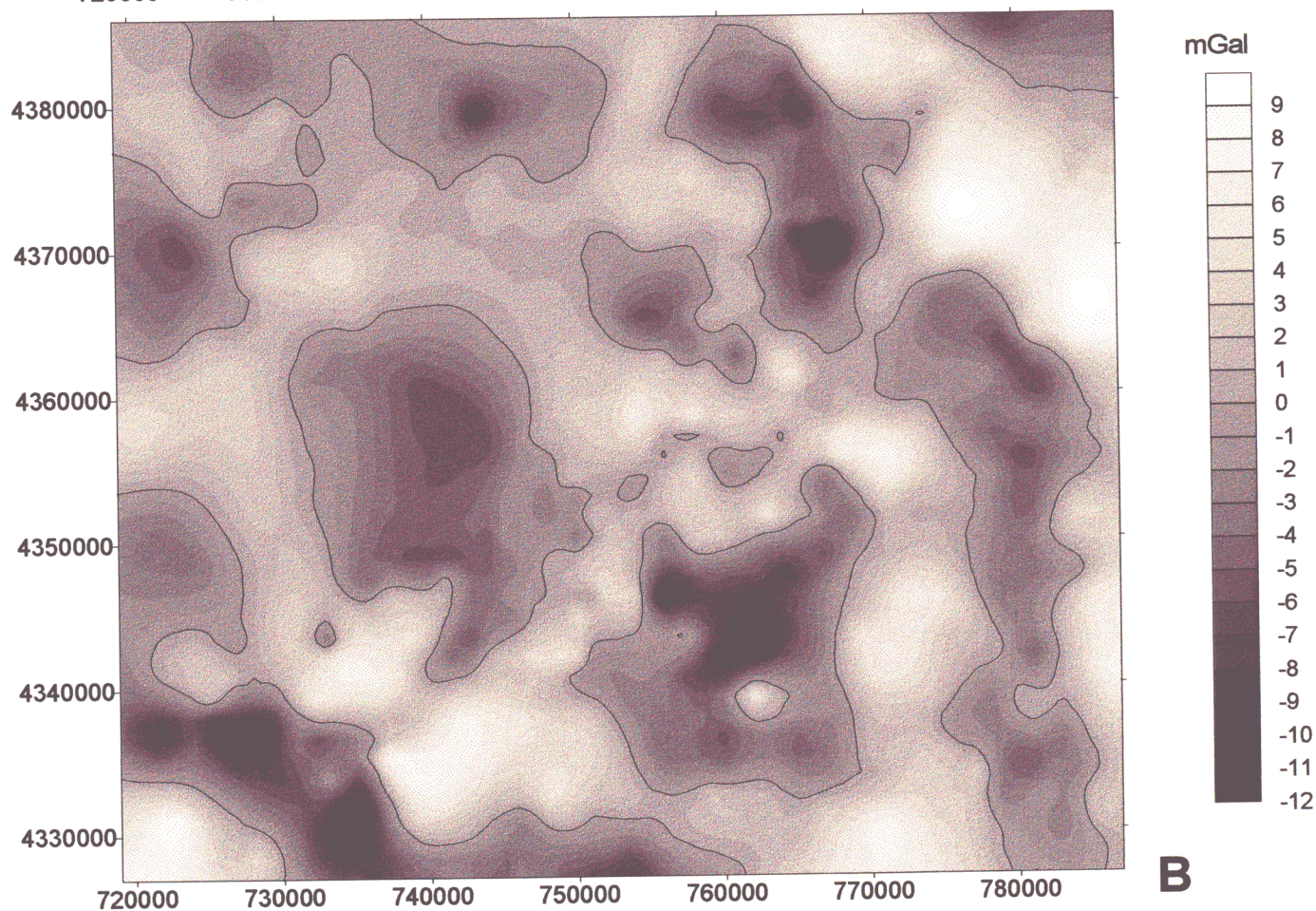
B

Figura 4.7.- Mapa de anomalías de Bouguer, regional de 5° grado (A) y residual calculado (B).

0 10 km



A



B

Figura 4.8.- Mapa de anomalías de Bouguer, regional de 6° grado (A) y residual calculado (B).

0 10 km

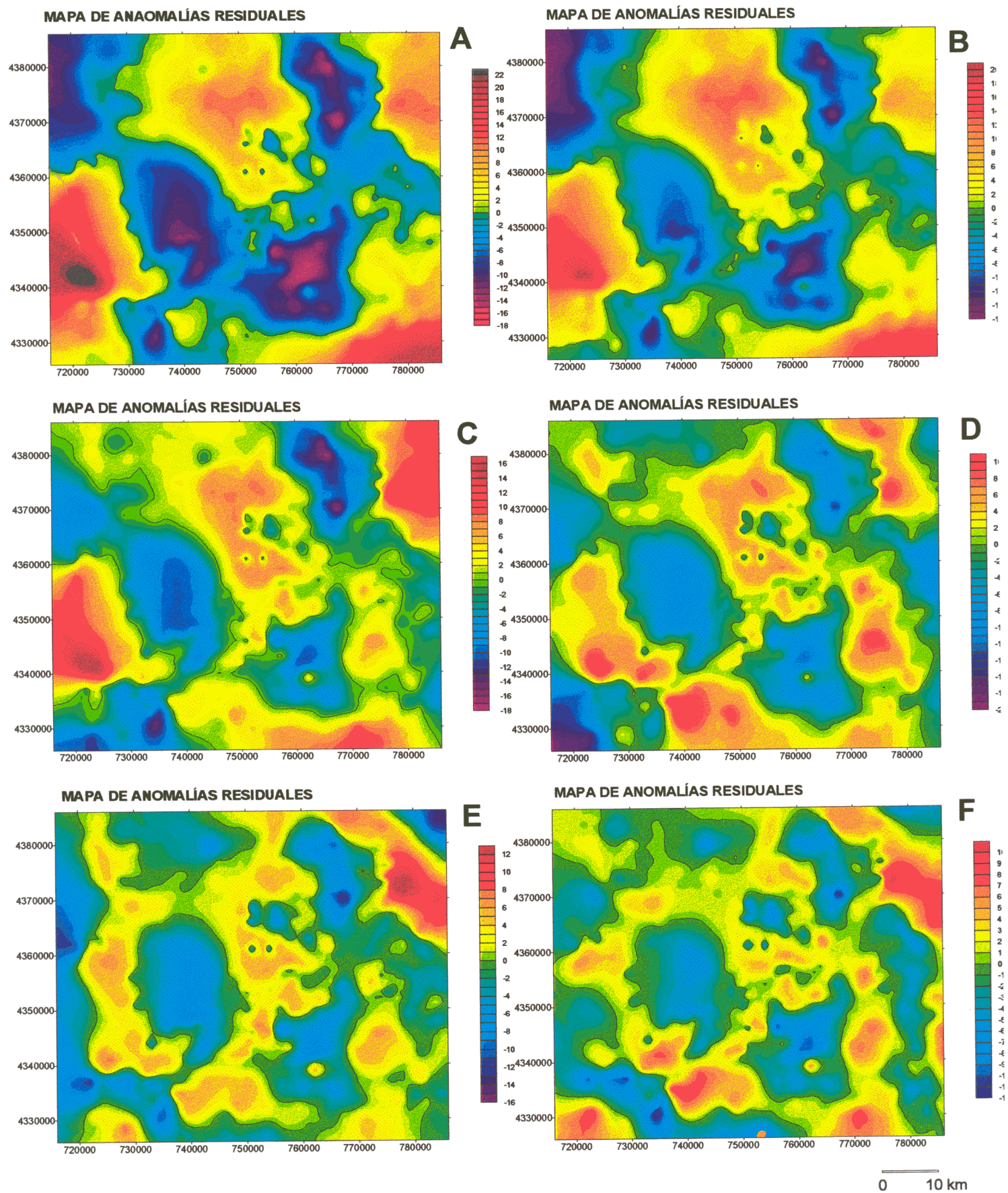


Figura 4.9.- Mapas de anomalías residuales de Bouguer derivados de los ajustes de superficies polinómicas de 1° (A), 2ª (B), 3ª (C), 4ª (D), 5° (E) y 6° (F) grado.

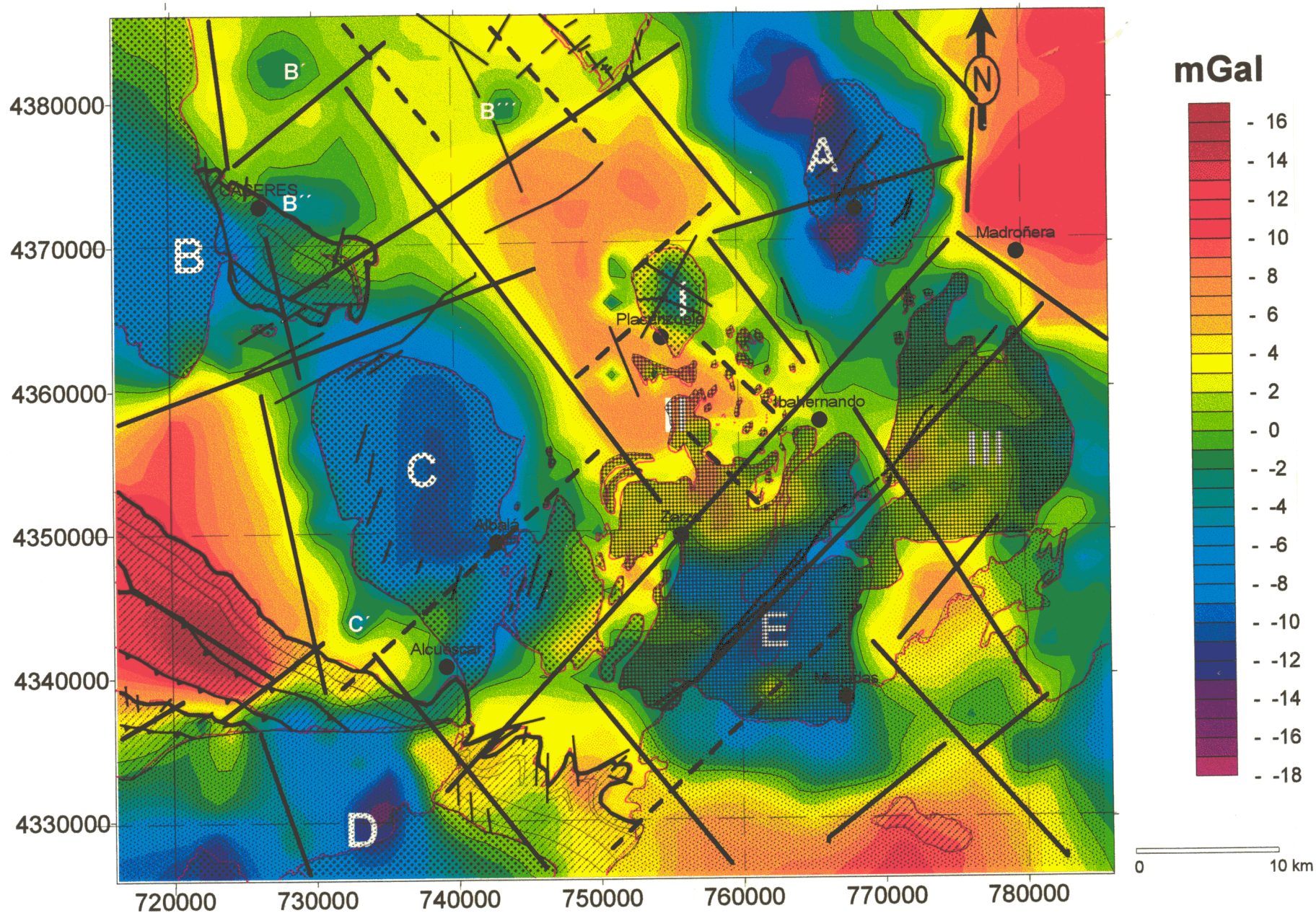


Figura 4.10.- Mapa de anomalías residuales de Bouguer. (Regional de 3er grado) y contornos geológicos principales en morado. Las letras y números romanos se hacen referencia en la interpretación (Sección 4.4). Alineaciones gravimétricas principales (—) y secundarias (---).

densidad de 2.67 g/cm^3 (Figura 4.10), el cual se utilizará en los pasos sucesivos.

4.3.- Estudio de densidades.

Conviene recordar que el objetivo principal de un estudio gravimétrico es determinar la configuración de las masas rocosas de diferentes densidades que constituyen un área, ya que lo que produce un cambio en el valor de la anomalía de Bouguer es precisamente la variación de las densidades reales de las rocas de la zona de estudio.

Puesto que el contraste de densidad es el factor fundamental que controla las anomalías de la gravedad, es importante poder establecerlo con mucha precisión, para cada una de las formaciones geológicas del área investigada. Esto debe hacerse tanto para la realización de los modelos gravimétricos, como para la interpretación cualitativa del mapa de anomalías residuales de Bouguer.

La medición de la densidad de una roca de forma directa, tiene que hacerse con muestras en laboratorio y como la mayor limitación es el carácter puntual de la información, debe realizarse un muestreo sistemático y posteriormente seguirse un tratamiento estadístico.

Como es sabido, un problema añadido que se plantea en la interpretación de las anomalías gravimétricas, es si la densidad de las formaciones investigadas no es constante con la profundidad, lo que implicaría una variación de su contraste (Maxant, 1980). Recientemente, han sido numerosos los autores que han abordado este problema, fundamentalmente en cuencas sedimentarias por ejemplo, Cordell (1973), Murthy y Rao (1979), Litninski (1989) y Guspi (1990) entre otros. Athy (1930) aplica a esta variación una función exponencial, Murthy y Rao (1979) aproximan esta variación mediante una función lineal, Agarwal (1971a y b) y Bhaskara Rao (1986), también consideran una variación lineal, aproximando una función cuadrática a la variación del contraste de densidad con la profundidad, y por último Guspi (1990) asume una función de densidad/profundidad polinomial.

En el área de estudio, teniendo en cuenta que los materiales son metamórficos y graníticos, no parece muy lógico aplicar ecuaciones de

variación del contraste de densidad en profundidad. Lo que si es absolutamente necesario, es conocer, tan exactamente como sea posible, la densidad media de cada unidad representada en el área, con el fin de establecer lo más rigurosamente posible el contraste de densidad entre ellas.

En el capítulo 2 se ha realizado una descripción detallada de los principales materiales que constituyen en el área investigada, los cuales se agruparon en:

- 1.- Materiales preordovícicos.
- 2.- Materiales paleozoicos.
- 3.- Rocas ígneas.
- 4.- Materiales de cobertera.

En relación con estas unidades, algunos estudios previos han establecido las densidades medias que se reflejan en la Tabla 4.2.

En este trabajo, y para llevar a cabo el análisis de densidades, se ha realizado en primer lugar, un muestreo sistemático de las diferentes litologías en testigos de sondeos, en canteras y en afloramientos representativos. En segundo lugar, se ha realizado la determinación experimental de la densidad de cada una de las muestras, utilizando un pycnómetro de aire calibrado con una bola de acero de $28.96 \pm 0.015 \text{ cm}^3$ de volumen (McIntyre et al., 1965). Una vez obtenido el volumen, se han pesado las muestras pudiendo así determinar la densidad de cada una de ellas. A partir de estas medidas, se ha asignado una densidad media característica a cada unidad o subunidad. Únicamente a los materiales de cobertera y dada su variación de densidad en función del contenido en agua se ha asignado un valor medio de 2.42 g/cm^3 teniendo en cuenta trabajos realizados en otras áreas como los de Bergamín (1986); Ayala et al. (1994); Bergamín et al. (1995), entre otros.

Las muestras medidas en cada una de las rocas que constituyen los materiales geológicos del área de estudio son las que se exponen en el Anexo III, junto con un mapa de posición de las mismas. Se han clasificado en tablas que contienen información sobre el número de

muestra, la densidad obtenida experimentalmente, la descripción litológica, la localidad y por último, las coordenadas UTM de localización exacta. Además, en las muestras recogidas en sondeos, se añade una columna que corresponde a la profundidad de la muestra en el sondeo. Esta misma información, más el promedio de densidad atribuido a cada polígono en la modelización gravimétrica, es la que figura resumida en la Tabla 4.3.

			DENSIDAD g/cm ³				
CEG	2.71±0.05	2.79±0.01	2.75	-	2.75	2.72	2.82
Cuarcitas	2.66±0.01	-	-	-	2.75	2.64	-
Pizarras	2.77±0.03	-	2.83	2.66-2.84	2.83	2.72	-
Otras	-	-	-	-	-	2.78	2.70
Granitos	-	2.68±0.01 2.67±0.01	2.67	2.46-2.65	2.67	2.64	2.67
Gr. Básicos	2.70±0.02 2.69±0.02 2.69±0.02 2.71±0.01	-	-	-	-	2.72	-
Gr. Ácidos	2.63±0.03	2.67±0.01	-	-	-	-	-
Autor / es	Yenes et al., 1995	Audrain et al., 1989	SantaTeresa et al., 1983	Seguin y Fridecki, 1989	Carbó et al., 1988	Campos y Gumiel, 1990	Bergamin y G.Cas. 1987

Tabla 4.2.- Densidades medias atribuidas por diferentes autores (en zonas próximas u otras zonas) a los materiales presentes en la zona de estudio.

A.- Densidades de rocas metamórficas.

El CEG en la zona de estudio, está representado por dos litologías dominantes, pizarras y grauvacas, y una minoritaria correspondiente a corneanas. La medición de las densidades en 14 muestras pertenecientes al CEG, arrojan una densidad media de $2.72 \pm 0.03 \text{ g/cm}^3$ (Figura 4.11a).

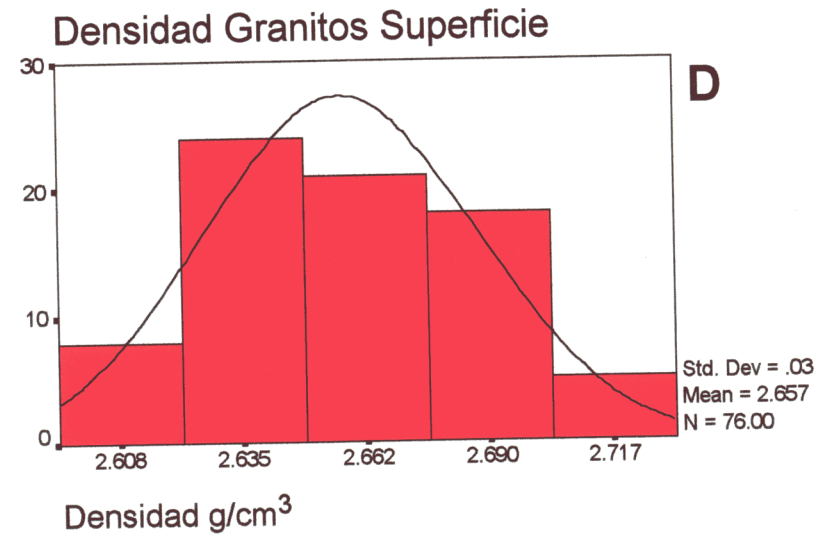
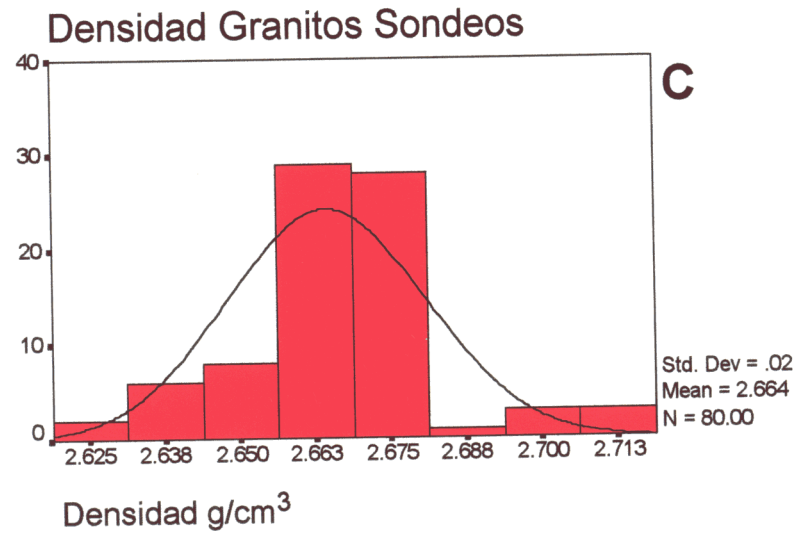
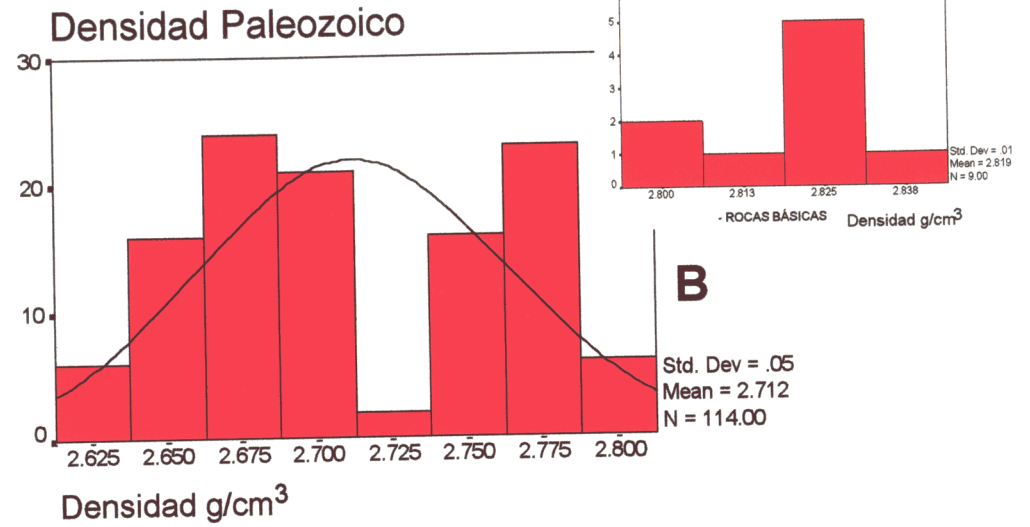
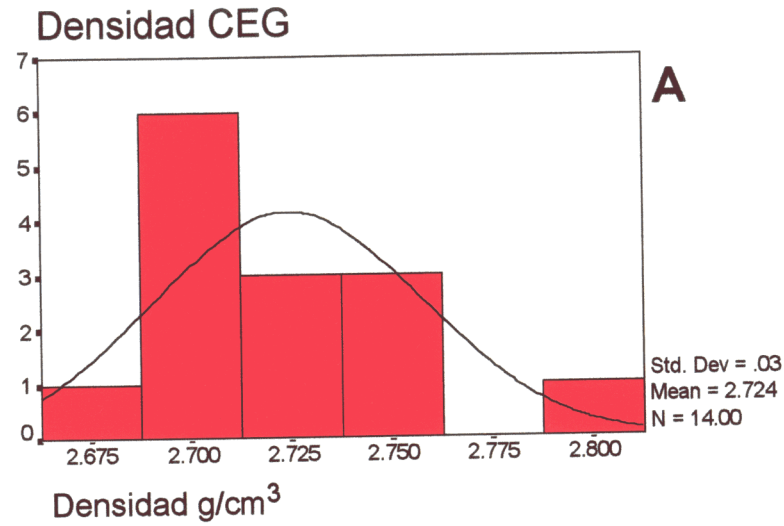


Figura 4.11.- Histogramas de densidades de las diferentes unidades geológicas utilizadas en la modelización gravimétrica.

Estimando una contribución de cada litología al polígono, para la posterior modelización, de un 60%, 30% y 10% respectivamente, se obtiene una densidad media de 2.72 g/cm^3 (Tabla 4.3).

De igual forma, la densidad medida en 114 muestras correspondientes a diferentes litologías de los materiales Paleozoicos del sinclinal de Cáceres, de la sierra de San Pedro y del sinclinal de La Codosera, arrojan una densidad media de $2.71 \pm 0.05 \text{ g/cm}^3$, teniendo en cuenta el porcentaje aproximado de participación de cada litología y excluyendo las rocas básicas la densidad del polígono para la modelización será de 2.72 g/cm^3 . La densidad media calculada para las rocas básicas (9 muestras) es de $2.82 \pm 0.01 \text{ g/cm}^3$ (Tabla 4.3 – Figura 4.11b).

B.- Densidades de rocas graníticas.

Para la medición de la densidad en estas rocas se ha podido disponer de muestras de granitos tomadas en sondeos, pertenecientes a la cúpula granítica de El Trasquilón. La densidad media de 80 muestras graníticas pertenecientes a los sondeos T1, T2, T5, T6 y T7 (Anexo III) es de $2.66 \pm 0.02 \text{ g/cm}^3$ (Tabla 4.3 y Figura 4.11c), observándose además, una variación mínima entre las diferentes facies, así como una nula variación en profundidad de las densidades determinadas, dentro de una misma facies granítica.

Con respecto a las 76 muestras de materiales graníticos tomadas en superficie, la densidad media es de $2.66 \pm 0.03 \text{ g/cm}^3$, la cual es muy semejante a la obtenida en profundidad y puede tomarse como densidad media global para los materiales graníticos (Figura 4.11d).

En un análisis detallado de las diferentes facies graníticas en cada cuerpo intrusivo se deduce que:

- Para el plutón de Trujillo (16 muestras), se diferencian dos facies principales; la más externa (F11 – Mapa 1) que corresponde a granitos porfídicos junto con la central (F10) constituida por granitos de dos micas con una densidad media conjunta (sobre un total de 10

muestras) de 2.64 g/cm^3 . Se han analizado además seis muestras de los leucogranitos que afloran en el centro del plutón (F9) en los que se ha determinado una densidad media de 2.61 g/cm^3 .

- El plutón de Plasenzuela presenta pequeñas variaciones litológicas entre facies y por consiguiente, pequeñas variaciones de densidad entre ellas. Se ha calculado una densidad media global de 2.64 g/cm^3 para el plutón (Tabla 4.3), teniendo en cuenta la participación aproximada de las diferentes facies (F9, F10, F11 y F15 – Mapa1) que lo constituyen.
- Los plutones de Zarza de Montánchez y Ruanes que están representados exclusivamente por granodioritas biotíticas (F16) las cuales presentan una densidad media global de 2.69 g/cm^3 (Tabla 4.3).
- El plutón de Albalá presenta una gran variedad litológica: granitos porfídicos (F11), monzogranitos (F12 y F13), granitos moscovíticos (F15) y leucogranitos (F9). La contribución de cada una de estas litologías se ha estimado en un 25%, 25%, 25%, 15% y 10% respectivamente, arrojando una densidad media global para el plutón de 2.64 g/cm^3 (Tabla 4.3).
- El plutón de Montánchez está constituido igualmente por varias facies, que incluyen leucogranitos (F9), granitos de dos micas (F10), monzogranitos (F13) y por último granodioritas biotíticas situadas en la zona sur del plutón (F16). Las densidades medias calculadas, así como las contribuciones estimadas de cada facies proporcionan una densidad media de 2.64 g/cm^3 para el plutón de Montánchez (Tabla 4.3).
- Con respecto al batolito de Cabeza de Araya, en el que Corretge (1971) determinó numerosas facies, se han seleccionado dos grupos litológicos que corresponden a granitos de dos micas (F10) y granitos porfídicos (F11), con unas densidades medias calculadas de 2.65

g/cm³, tomada ésta como densidad media global para el batolito en la modelización.

- El plutón de Alijares presenta también dos grupos litológicos bien diferenciados para la modelización gravimétrica en función de la densidad y son por una parte, granodioritas biotíticas (F16) con una densidad media alta (2.69 g/cm³) y por otra parte, leucogranitos (F9) y monzogranitos (F12, F13) cuyo porcentaje de participación arroja una densidad media de 2.64 g/cm³.
- Por último, en el plutón de Santa Cruz – Zorita se han diferenciado tres grupos para la modelización, en primer lugar las facies centrales que corresponden a migmatitas (F7) y monzogranitos con abundantes restitas (F14) con una densidad media de 2.72 g/cm³, en segundo lugar, monzogranitos (F13) que ocupan la zona intermedia del plutón con una densidad media de 2.66 g/cm³, y por último las granodioritas biotíticas externas (F16) con una densidad de 2.69 g/cm³. En la modelización gravimétrica se han mantenido estos tres grupos, dado su contraste de densidad.

Como comprobación de los resultados analíticos, hay que señalar que del total de 293 muestras medidas, se han duplicado 27, lo que representa un chequeo del 9.21% de las muestras, y el error medio cuadrático obtenido es aceptable ($E_{mc}=\pm 0.029$), confirmando la bondad de las medidas (véase Anexo III).

4.- Interpretación.

	-	GRAVAS,AR,ARC.	2.42	100	2.42
	-	PIZARRAS	2.73	60	2.72
	-	GRAUVACAS	2.70	30	
	-	CORNEANAS	2.73	10	
	-	PIZARRAS	2.76	50	2.72
	-	CUARCITAS	2.67	40	
	-	ARENISCAS	2.69	5	
	-	CALIZAS	2.70	5	
	-	ROCAS BÁSICAS	2.82	100	2.82
	TRASQUILÓN	T1	2.66	-	2.66
		T2	2.66	-	
		T5	2.66	-	
		T6	2.66	-	
		T7	2.68	-	
	TRUJILLO	F10	2.64	20	2.64
		F11	2.64	80	
		F9	2.61	100	2.61
	PLASENZUELA	F9	2.62	10	2.64
		F10	2.65	60	
		F11	2.64	20	
		F15	2.65	10	
	RUANES ZARZA	F16	2.69	100	2.69
	ALBALÁ	F15	2.66	15	2.64
		F9	2.63	10	
		F12	2.65	25	
		F13	2.63	25	
		F11	2.64	25	
	MONTÁNCHEZ	F9	2.62	5	2.64
		F10	2.64	80	
		F13	2.63	10	
		F16	2.66	5	
	C.ARAYA	F10	2.65	50	2.65
		F11	2.65	50	
	ALIJARES	F13	2.65	30	2.64
		F12	2.63	40	
		F9	2.65	30	
		F16	2.69	100	2.69
	S.CRUIZ-ZORITA	F7	2.72	50	2.72
		F14	2.72	50	
		F13	2.66	100	2.66
		F16	2.69	100	2.69

Tabla 4.3.- Tabla resumen de las densidades de las unidades y subunidades definidas en la zona de estudio. El % de contribución se refiere a la contribución de cada facies al polígono correspondiente en la modelización gravimétrica. (Explicación de facies graníticas en el texto).

4.4.- Interpretación del mapa de anomalías residuales de Bouguer.

El mapa de anomalías residuales de Bouguer (Figura 4.10) constituye un documento de gran utilidad cuya interpretación combinada con el mapa de lineamientos sobre la Imágen Landsat TM (Figura 2.16) de la zona de estudio, ofrece la posibilidad de profundizar e incrementar en el conocimiento geológico del área de estudio, siempre con la base geológica a escala 1:100.000 (Mapa 1).

En primer lugar, los tres documentos muestran un buen grado de correlación, de tal forma que, los materiales correspondientes a diferentes litologías (granitos, materiales paleozoicos y CEG), muestran diferencias en la respuesta gravimétrica. Igualmente, las trazas de lineamientos observados en la Imágen Landsat TM (Figura 2.16), tienen una buena correspondencia con las alineaciones de gradientes gravimétricos principales.

Las alineaciones de gradientes principales de dirección NO-SE y NE-SO (Figura 4.10), confieren a la zona una estructuración en unidades o bloques irregulares de forma aproximadamente romboidal. Estas alineaciones son por otra parte, muy claras en la interpretación de la Imágen Landsat. La existencia de otras alineaciones gravimétricas menores, de dirección semejante, reflejan una estructuración más compleja, que probablemente sirve para explicar el emplazamiento y deformación diferencial de algunos granitos, u pueden ser útiles en la exploración de determinados yacimientos e indicios minerales.

Esta estructuración "romboidal" está a su vez perturbada por una dislocación en dirección N-S, observable principalmente en la zona NE del mapa de anomalías residuales de Bouguer (ver también mapa de lineamientos), de gran importancia regional. Esta alineación N-S está condicionando la estructura principalmente al E de la zona de estudio, hecho que queda también reflejado en la interpretación del mapa aeromagnético (Mapa Residual) de la Península Ibérica a escala

1/1.000.000 (Ardizzone et al., 1989) en el que los autores interpretan la existencia de dislocaciones magnéticas principales en dirección NNE-SSO, así como en direcciones N-S y NNO-SSE en las proximidades, al este y al oeste de la zona de estudio.

La estructuración del área en unidades facilita la descripción e interpretación del mapa de anomalías residuales de Bouguer, de forma que, en un análisis de detalle, podemos establecer las siguientes unidades (Figura 4.10):

La **unidad A** corresponde a un mínimo gravimétrico generado por la deficiencia de masa asociada a los materiales graníticos del plutón de Trujillo. Esta unidad está delimitada por las alineaciones gravimétricas NE-SO al sur, NO-SE al oeste y por la alineación N-S al este. Las curvas isoanómalas definen un mínimo con elongación en dirección N-S y con inflexión en el extremo norte hacia el NO.

Posicionalmente, el afloramiento granítico del plutón de Trujillo se sitúa en la zona centro-oriental y meridional de la unidad, desplazado con respecto al mínimo gravimétrico que genera. Este hecho sugiere una prolongación importante de las rocas graníticas subsuperficialmente, de forma no aflorante y hacia el NO, en donde probablemente adquiere una mayor profundización.

Tanto en el mapa de anomalías residuales (Figura 4.10), como en la Imágen Landsat (Figura 2.16), se definen alineaciones gravimétricas y tectónicas (NE-SO y ONO-ESE), que coinciden con las direcciones anteriormente mencionadas y que corresponden a grandes rasgos con los sistemas de fracturación que se desarrollan en el plutón (véase capítulo 2) y que han sido aprovechados por los diques de microgranitos aplíticos y filones de cuarzo observados en el campo.

La **unidad B**, aunque se sitúa en el extremo NO del mapa de anomalías residuales de Bouguer, marca el inicio de un gran mínimo gravimétrico, que está generado por los materiales de menor densidad que forman el Batolito de Cabeza de Araya, cuyo núcleo principal está situado al NO de

la zona de estudio y se encuentra flanqueado por alineaciones gravimétricas NO-SE y NE-SO.

Audrain et al. (1989) y Vignerresse (1995 a y b) apuntan la existencia de dos mínimos gravimétricos relativos (fuera del área de estudio), relacionados con dos zonas de enraizamiento localizadas en los bordes NE y SO del batolito, dispuestas de forma simétrica con respecto al centro del plutón. Estas zonas representan para los autores, conductos de alimentación magmáticos sin embargo, esta misma disposición de anomalías en el plutón de Trujillo corresponde probablemente a una diferenciación de facies de menor densidad.

Un hecho importante es que al este del batolito de Cabeza de Araya y fuera de él, hay que destacar la existencia de dos mínimos (B', B'' y B''' - Figura 4.10), que pueden estar señalando la posición de alguna cúpula granítica no aflorante, en los materiales del CEG, cuya importancia desde el punto de vista metalogénico se resalta en el capítulo 5 de modelización gravimétrica.

La **unidad C** (Figura 4.10) corresponde a una zona de mínimo gravimétrico, centrado posicionalmente en el plutón de Albalá y limitado como en los casos anteriores por alineaciones gravimétricas NE-SO y NO-SE, que conforman una estructura romboidal. Las curvas isoanómalas presentan una morfología semejante a la de la unidad A (Trujillo), de tendencia N-S, e inflexión de las curvas hacia el NO, con gradientes muy suaves en esa dirección.

En esta unidad C se reconocen dos zonas separadas por una alineación importante de dirección NE-SO, que corresponde con una importante zona de fractura en esa dirección. El sector noroeste del bloque corresponde al plutón de Albalá y presenta una anomalía mucho mayor, debido a sus dimensiones, y a su vez unos gradientes suaves en todas las direcciones excepto al sureste. Por el contrario, el sector suroriental de la unidad es de dimensiones más reducidas, presenta así mismo una anomalía menor y fuertes gradientes, y corresponde al plutón de Montánchez.

La diferente respuesta geofísica de los plutones de Albalá y Montánchez, es desde un punto de vista geológico muy razonable, ya que tanto las características petrológicas como estructurales son diferentes, y la zona de conexión entre ambos plutones se realiza a través de una zona de debilidad de dirección aproximada N-S, que correspondería con la zona de cizalla Magasca - Montánchez, descrita en el capítulo 2, en la que se encuentran facies leucograníticas, diques de aplitas y pegmatitas y mineralizaciones filonianas de casiterita, wolframita, apatito y uranio asociadas.

En la zona anómala C se define también un mínimo gravimétrico (C'), situado en el extremo SSO del bloque (Figura 4.10 - ver también residuales de 4º, 5º y 6º grado en la figura 4.8) y que podría representar una apófisis granítica no aflorante, ligada al plutón de Albalá y que además se situaría próxima a los filones de cuarzo con wolframita (indicios 32 y 33 - capítulo 2 – Mapa 1) de las proximidades de Casas de Don Antonio.

Desde el punto de vista estructural, hay que resaltar la coincidencia espacial de estos mínimos gravimétricos, en las unidades B y C que pueden corresponder a cúpulas ocultas relacionadas con la situación de "zonas de alta densidad de fracturas", obtenidas a partir del análisis de lineamientos en la figura 2.17. Estas zonas están definidas por la disposición de los máximos de frecuencia, densidad, y número de intersecciones de los mismos (Figura 2.17 2,3 y 4). Por consiguiente, se confirma que hay una estructuración de la zona, probablemente en "bloques", cuyos límites, aunque irregulares, están marcados por esas zonas de alta densidad de fracturación, de orientación principal NO-SE y NE-SO, cuya confluencia puede tener gran interés, tanto desde un punto de vista estructural, como metalogénico.

Un buen ejemplo es la posición que ocupa la cúpula granítica de El Trasquilón (al sur de Cáceres). Se sitúa en la intersección de dos zonas de fractura. La primera de ellas de orientación NO-SE, es la que influye concretamente en los plutones de Cabeza de Araya y Albalá, y es en la zona de confluencia con la zona de fractura de orientación NE-SO (Figura 2.17), donde se encuentra dicha cúpula. El hecho de que su aparición,

sea precisamente en la zona de confluencia entre los lineamientos anteriormente mencionados, y que delimitan las unidades gravimétricas B y C, puede suponer una herramienta muy útil, de cara a la exploración minera de otros cuerpos de similares características. Por lo tanto, además de la importancia que tiene el control estructural de zonas de alta densidad de fractura, en la localización de estos cuerpos y consiguientemente de sus mineralizaciones asociadas (véase apartado 2.7.3), aquí, se resalta también el importante papel que puede desempeñar el método gravimétrico, en la búsqueda y localización de este tipo de yacimientos, en áreas específicas y con una malla adecuada.

La **unidad D** es una zona anómala de carácter negativo relativo, y está situada al SSO del mapa de anomalías residuales. Se encuentra limitada por alineaciones gravimétricas como las anteriores (NE-SO y NO-SE) y sobre la zona norte de los granitos cartografiados del área de Mérida. Al encontrarse en una zona de borde del mapa, no se observa su continuidad en la zona sur, pero si se puede deducir una conexión hacia el noreste con la anomalía que genera el plutón de Albalá (Unidad C). A este respecto hay que señalar que los granitos de dos micas de grano medio, que se sitúan al sur de la localidad de Carmonita pueden estar ligados a los granitos del área de Mérida (véase Mapa 1), ya que el mínimo relativo D no podría explicarse únicamente por la existencia de materiales terciarios de menor densidad en la zona.

La **unidad E** corresponde a otra área anómala y se sitúa posicionalmente sobre el plutón de Alijares. Topográficamente se trata de un cuerpo intrusivo de gran relieve, constituido composicionalmente por cuarzodioritas, granodioritas, granitos aplíticos y leucogranitos, así como diques de granitos aplíticos (véase capítulo 2).

Esta unidad tiene una forma irregular, que probablemente está controlada, como en los casos anteriores, por las direcciones estructurales NO-SE y NE-SO, coincidentes con "zonas de alta densidad de fractura (lineamientos)". En el caso de la unidad E, la estructuración tiene una componente muy clara de orientación NE-SO, como queda también reflejado en las figuras 2.8 y 2.16.

El mínimo gravimétrico situado en el centro de la unidad E se correlaciona, a grandes rasgos, con las facies de leucogranitos apliticos y su forma elongada en dirección NE-SO, coincide con la orientación de uno de los lineamientos principales dentro de la zona de estudio que señala una importante zona de fractura. Este mínimo relativo, a su vez, está constituido por otro mínimo relativo de menor longitud de onda, situado al ENE del bloque, que coincide con la posición de otro lineamiento mayor, paralelo al anterior. Cabe interpretar que está señalando la posición de otras facies leucograníticas, en este caso no aflorantes.

En la modelización habrá que tener en cuenta que las facies de granodioritas biotíticas (Facies 16 en el Mapa 1) que constituyen gran parte del complejo plutónico de Alijares-Zarza-Zorita no presentan un contraste de densidad demasiado alto con el CEG como para presentar una anomalía clara.

El máximo relativo que se observa en la parte central del bloque (E – Figura 4.10)), ocupa una posición muy interesante, tanto desde el punto de vista estructural, como metalogénico, pues se sitúa en las proximidades de un importante lineamiento de orientación NE-SO (Figura 2.16). Éste coincide con una zona de alta densidad de fractura (Figura 2.17), la cual a su vez, favoreció el emplazamiento del conjunto de diques de pórfidos graníticos y cuarzomonzoníticos de El Sextil, cuya importancia petrológica y metalogénica ya ha sido puesta de manifiesto en el capítulo 2.

Por otra parte, existen tanto en el mapa de anomalías, como en el mapa de anomalías residuales de Bouguer, una serie de zonas donde la complejidad en la interpretación es mucho mayor, ya que aún siendo de carácter negativo (minimos relativos) no delimitan con precisión los cuerpos intrusivos sobre los que se sitúan. Se han denominado zonas anómalas de “carácter intermedio o mixto” (Zonas I, II y III - Figura 4.10) y que responden a la existencia y superposición de fenómenos más difíciles de aislar.

La densidad es uno de los parámetros que puede explicar en parte la existencia de estas zonas de “carácter intermedio”. Las unidades II y III, se sitúan sobre los plutones de Zarza, Ruanes, Santa Cruz y Zorita, formados todos ellos por granodioritas y cuarzodioritas biotíticas, y es el bajo contraste de densidades entre estas facies y los materiales del CEG, lo que explicaría el carácter más difuminado de las anomalías.

Los plutones de Ruanes y Zarza de Montánchez, formados exclusivamente por cuarzodioritas y granodioritas (2.69 g/cm^3 de densidad media - Tabla 4.3 -), al igual que la facies externa de Santa Cruz - Zorita (2.69 g/cm^3), presentan un contraste de densidad con los materiales del CEG (2.72 g/cm^3) muy bajo, y prueba de ello es el carácter difuminado de las anomalías a las que dan lugar. Sin duda, otro condicionamiento del “carácter intermedio” de estas zonas anómalas, es la complejidad estructural, y el mejor ejemplo lo constituye la unidad I, situada posicionalmente sobre el plutón de Plasenzuela. Los materiales graníticos que constituyen el plutón de Plasenzuela, son granitos calcoalcalinos de tendencia aluminica, por lo que teóricamente deberían presentar una anomalía mejor definida, dado su considerable contraste de densidad con los materiales encajantes. Por lo tanto, el hecho de presentar estas características geofísicas no puede explicarse por su densidad, por lo que a priori, cabe interpretar como un posible desenraizamiento del plutón, lo que explicaría las pequeñas dimensiones de la anomalía, todo ello unido al fuerte condicionamiento estructural del área donde se sitúa. En los residuales derivados del ajuste de superficies de 5º, y 6º grado que tienden a enfatizar las anomalías menores (Figura 4.9), se confirma en parte esta hipótesis. Esta zona presenta también una mayor complejidad estructural que las anteriores (zona de máximos de frecuencia de lineamientos – Figura 2.17₂), y las intersecciones entre lineamientos gravimétricos y estructurales, de orientación NO-SE y NE-SO, confieren a la misma una verdadera estructuración en bloques romboidales. Por tratarse de un área de alta densidad de fractura, es idónea para la existencia de concentraciones minerales, tal es el caso, porque al oeste del plutón de Plasenzuela son numerosos los indicios extratolíticos de Ag-Pb-Zn, como ya ha quedado reflejado en el capítulo 2.

La interpretación de las anomalías gravimétricas separadas en zonas "romboidales" que compartimentan la zona, está de acuerdo y corrobora el modelo estructural propuesto en el capítulo 2, y es consistente con el último evento de transpresión prolongada (Figura 2.15_b) que afectó a la zona. La definición precisa de la geometría de los bloques y la localización de áreas favorables, como espacios abiertos en donde se pueda concentrar una determinada mineralización, se sale de los objetivos de esta Tesis, pero sin duda, estos patrones estructurales, confirmados con el método gravimétrico, pueden tener una importante aplicación futura en la exploración de yacimientos minerales en la región.

Por último, hay que hacer constar que en este trabajo, ha sido posible la integración de la información geofísica y geológica, junto con los datos aportados por la teledetección, para un mejor entendimiento de la geología global del área de estudio. En primer lugar, se ha cumplido uno de los objetivos señalados al inicio de este estudio, que era el de incrementar el conocimiento geológico del área. En segundo lugar, se resalta la influencia del control estructural sobre los diferentes intrusivos y por último, se resaltan los aspectos metalogénicos.

ABRIR CAPÍTULO 5

