ESTRATIGRAFÍA DEL SUBSUELO EN EL SECTOR NOROESTE DE LA CUENCA DEL DUERO (PROVINCIA DE LEÓN)

A. Herrero[1], G. Alonso Gavilán[2] y J. R. Colmenero[2]

[1] *Departamento de Ingeniería Minera, Universidad de León, c/ Jesús Rubio 2, 24004 León. dimahh@unileon.es*
[2] *Departamento de Geología, Universidad de Salamanca, Plaza de la Merced s/n, 37007 Salamanca*

Resumen: El registro sedimentario terciario en el dominio noroccidental de la Cuenca del Duero se divide en tres unidades aloestratigráficas: Vegaquemada, Candanedo y Barrillos. El depósito de la primera se realizó a través de una llanura fluvial surcada por canales de baja sinuosidad con una extensa llanura de inundación. La segunda se formó por un conjunto de abanicos aluviales de alta eficacia de transporte, adosados al macizo montañoso, que lateralmente evolucionan hacia una llanura fluvial con canales de baja sinuosidad y una llanura de inundación donde se formaron paleosuelos diversos. La tercera unidad fue generada por un conjunto de abanicos aluviales de alta eficacia de transporte dominados por canales fluviales de baja sinuosidad.
En el subsuelo se definen cuatro unidades sísmicas: Paleozoica (USPz), Mesozoica (USMz), Paleógena (USPg) y Neógena (USNg). Se han obtenido los mapas de isovelocidades, isocronas e isobatas para el techo y muro de las dos unidades terciarias. Asimismo, se analizan varias diagrafías de sondeos que atraviesan principalmente la USNg.
La geometría del relleno sedimentario revela que este dominio noroccidental de la Cuenca del Duero se comportó como un surco subsidente tipo cuenca de antepaís. Este surco tiene una orientación este-oeste paralela al frente montañoso cantábrico y está limitado al suroeste por el umbral periférico. El surco tiene una anchura superior a los 40 km y un espesor de sedimentos de 3.500 m. El umbral periférico representa una zona de elevación del basamento con un espesor reducido de las unidades sísmicas. Este umbral periférico debió de actuar de barrera para la sedimentación durante la etapa de la unidad aloestratigráfica Vegaquemada y fue sobrepasado por la unidad aloestratigráfica Candanedo.

Palabras clave: unidad aloestratigráfica, abanicos aluviales, sísmica, diagrafías, cuenca de antepaís, Terciario, Cuenca del Duero.

Abstract: The Tertiary sedimentary record in the northwest area of the Duero Basin is divided into three allostratigraphic units: Vegaquemada, Candanedo and Barrillos. The deposit of the first was accomplished through a plain river furrowed by low-sinuosity channels with a wide flood plain. The second unit was formed by a set of highly efficient alluvial systems, leant to the mountainous massif that evolved sideways towards a plain river with low-sinuosity channels and a flood plain where different types of paleosols were generated. The third unit was generated by a set of highly efficient alluvial systems, built by low-sinuosity channels networks.
Four seismic units are defined in the subsoil: Paleozoic (USPz), Mesozoic (USMz), Paleogene (USPg) and Neogene (USNg). Isovelocity, isochron and structural maps have been constructed for the upper and lower limits of the two tertiary units. Several well-log curves, that cross mainly the USNg are also analyzed.
The study reveals that this sector of the Duero Basin constituted a foreland basin generated by the Alpine uplift of the Cantabrian Mountains. The foredeep had an east-west trend, parallel to the mountainous cantabric front and it is limited to the southwest by the peripheral threshold. The foredeep was wider than 40 km and the sediments thickness is 3,500 m. The forebulge represents a high of the basement, with a reduced thickness of the seismic units. This forebulge must have acted as a barrier for the sedimentation during the stage of the Vegaquemada allostratigraphic unit and it was exceeded by the Candanedo allostratigraphic unit.

Key words: allostratigraphic unit, alluvial fans, seismic, well-log, foreland basin, Tertiary, Duero Basin.

Herrero, A., Alonso Gavilán, G. y Colmenero, J.R. (2004): Estratigrafía del subsuelo en el sector noroeste de la cuenca del Duero (Provincia de León). *Revista de la Sociedad Geológica de España,* 17 (3-4): 199-216

El centro y sureste de la provincia de León forman parte del sector noroccidental de la Cuenca del Duero. En las áreas elevadas están representadas tres de las Zonas del Macizo Ibérico diferenciadas por Lotze (1945): Cantábrica, Asturoccidental-Leonesa y Centroibérica. La primera de ellas está situada al norte de la provincia y las otras dos al oeste y suroeste, respectivamente. Los sedimentos terciarios de la Cuenca Duero están separados, en general, de la Zona Cantábrica por los materiales mesozoicos (Fig. 1).

Entre los trabajos que analizan la estratigrafía de superficie cabe mencionar los de Evers (1967), Pérez-García (1977), Colmenero *et al.* (1982 a, b y c), Manjón *et al.* (1982 a, b y c), García Ramos *et al.* (1982 a, b y c), Herrero *et al.* (1994), Suárez Rodríguez *et al.* (1994), Herrero (2001) y Herrero *et al.* (2002). Sin embargo, el estudio de la geología de subsuelo en este sector de la Cuenca del Duero se inicia en épocas recientes (Gallastegui, 2000; Herrero, 2001).

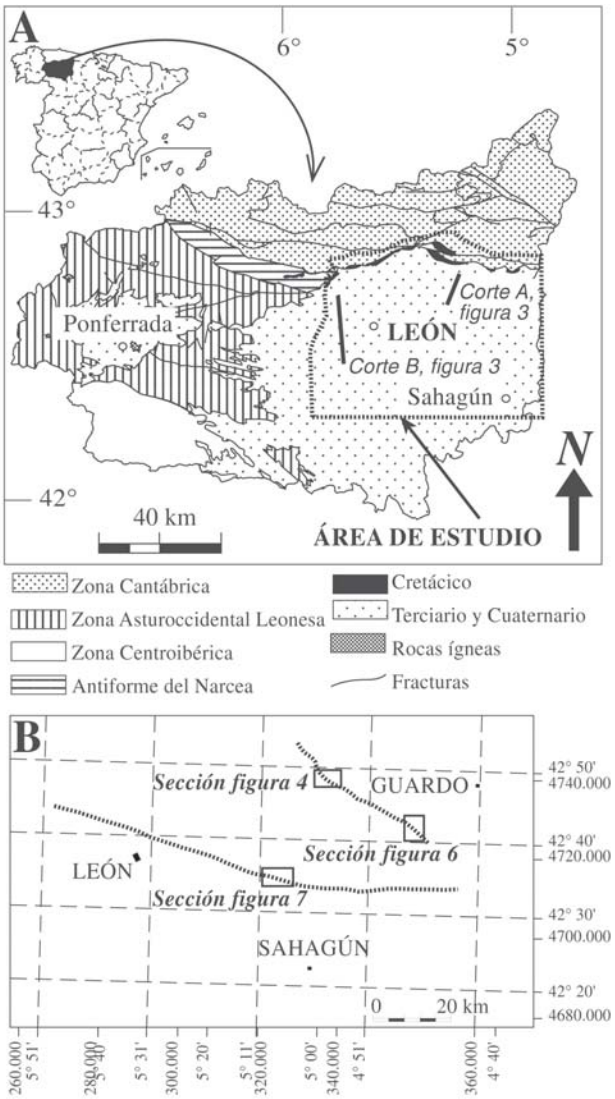

Figura 1.- A) Contexto geológico de la provincia de León y área estudiada. B) Localización de las secciones sísmicas donde se hallan los cortes utilizados en las figuras 4, 6 y 7.

El objetivo del presente es trabajo definir y caracterizar las unidades litosísmicas existentes en el subsuelo y establecer su correlación o equivalencia con las definidas en superficie. Asimismo, se pretende analizar la evolución, geometría y génesis del relleno sedimentario durante el Terciario, así como los factores alocíclicos que controlaron estas unidades.

Para conseguir estos objetivos se realizaron los estudios estratigráficos y sedimentológicos de la geología de superficie, mientras que, para el subsuelo se utilizaron varias secciones de sísmica de reflexión y diferentes diagrafías de sondeos. El análisis de las secciones sísmicas se ha llevado a cabo mediante el reconocimiento de los reflectores principales en cada una de ellas. Estos reflectores se han seguido a través de toda la malla de líneas sísmicas y en cada una de las intersecciones. Este reconocimiento y seguimiento implica un control tridimensional de los reflectores, de las unidades sísmicas (geometría) y de las posibles estructuras tectónicas que los afectan.

En la elaboración de los mapas de isolíneas se realizó la conversión del tiempo en espacio, analizando las velocidades de propagación de las ondas sísmicas en el subsuelo. Con el objetivo de no producir una fuerte distorsión en el cálculo de las profundidades se desestimó el uso de las velocidades obtenidas en la diagrafía sónica del sondeo El Campillo, puesto que la mayor parte de este sondeo son conglomerados y sus datos no se deben extrapolar hacia el resto del área, al presentar fuertes cambios laterales en la litología. Por ello, se han utilizado las velocidades de los perfiles sísmicos, velocidad de intervalo y velocidad cuadrática media relacionadas a través de la fórmula de Dix (1955). Esta análisis es válido para estratos horizontales, mientras que para las zonas plegadas se efectuaron las correcciones teniendo en cuenta el valor del coseno del ángulo de buzamiento.

Unidades estratigráficas

La sucesión terciaria en la zona noroccidental de la Cuenca del Duero está integrada por sedimentos detríticos: conglomerados, areniscas, lutitas y escasos carbonatos, con un espesor total que no supera los 3.500 m. La división litoestratigráfica regional se establece con un carácter formal en los trabajos de Herrero (2001) y Herrero *et al.*, (2002). En estos trabajos, la sucesión terciaria se divide en cinco formaciones: Vegaquemada, Candanedo, Villarroquel, Mansilla y Barrillos, y se definen las características estratigráficas y sedimentológicas más representativas. Para su diferenciación se siguió la normativa propuesta por la Guía Estratigráfica Internacional (ISG, 1994). Asimismo, teniendo en cuenta el criterio litológico estas cinco formaciones son agrupadas en tres unidades aloestratigráficas, definidas

según el Código Estratigráfico de Norteamérica (NASC, 1983) y que, de muro a techo, se denominan: Vegaquemada, Candanedo y Barrillos.

Las discontinuidades que separan a estas unidades aloestratigráficas se reconocen a escala de cuenca y pueden ser consideradas como límites isócronos. Se establecen teniendo en cuenta los datos paleontológicos y las fases tectónicas que se observan en la zona y, asimismo, las definidas en áreas próximas. La discontinuidad que separa a las dos unidades inferiores no puede ser determinada cronológicamente con exactitud debido a la ausencia de restos fósiles en ambas unidades. Para situarla se ha recurrido a datos de tipo regional. En cambio, la discontinuidad entre las dos unidades superiores se ha situado teniendo en cuenta los restos fósiles.

Unidad aloestratigráfica Vegaquemada

Está constituida por la Fm Vegaquemada y se halla en discordancia con los sedimentos cretácicos. Aflora al norte del área estudiada a lo largo de una banda alargada en dirección este-oeste. La unidad aparece deformada, con las capas fuertemente inclinadas, subverticales y hasta invertidas. Tiene un espesor variable, que en el valle de las Arrimadas es inferior a los 1.500 m (NE del área) y en las proximidades de Rioseco de Tapia (NO del área) es menor de 400 m. Abarca una edad comprendida entre el Eoceno medio y el Ageniense inferior (Mioceno Inferior).

Desde su inicio, la sedimentación de la unidad aloestratigráfica Vegaquemada estuvo controlada por un incremento en la actividad tectónica, puesta de manifiesto por la tendencia granocreciente y estratocreciente, que ya fue señalada en los trabajos de Colmenero *et al.* (1982 a), García Ramos *et al.* (1982 b y c), Manjón *et al.* (1982 a y b) y Herrero *et al.* (2002).

Paleogeografía

La unidad aloestratigráfica Vegaquemada constituye la primera etapa de la sedimentación terciaria en el dominio noroccidental de la Cuenca del Duero. La sedimentación cretácica está representada en la zona por ambientes marinos y litorales que progresivamente se retiran hacia el NE. Con esta unidad aloestratigráfica se inicia la sedimentación en medios continentales que permanecerán durante todo el Terciario. Asimismo, se da un cambio en el sentido de las paleocorrientes, ya que durante el Cretácico provenían del oeste, suroeste y sur (Jonker, 1972) y ahora se dirigen hacia el sur y sureste.

Durante esta etapa las lutitas tienen una distribución y volumen mayoritarios sobre los conglomerados y arenas. El sector oriental de la zona de estudio estuvo dominado por una llanura fluvial, con una extensa llanura de inundación cortada por canales efímeros de baja sinuosidad con carga de gravas y arenas (Fig. 2 A). Asimismo, en la llanura de inundación están representados depósitos de tipo palustre y lacustre carbonatados y someros, niveles de paleosuelos calcimorfos poco desarrollados y depósitos de desbordamientos.

En la parte superior de esta unidad se da un cambio de facies con aumento de los conglomerados y disminución de las facies lutíticas. Este cambio de facies permite interpretar una progradación de sectores medios y proximales sobre sectores distales.

En los sectores centro y oriental de esta unidad los clastos son de naturaleza poligénica (cuarcitas, areniscas, limolitas y carbonatos), representando un área madre instalada en los relieves cretácicos y paleozoicos de la Zona Cantábrica. En cambio, en el sector occidental, los clastos son exclusivamente de naturaleza silícea indicando una procedencia de la Zona Asturoccidental-Leonesa, con un área madre más próxima, puesto que los sedimentos en estas zonas son más gruesos.

Unidad aloestratigráfica Candanedo

Está integrada por las Fms Villarroquel, Candanedo y Mansilla, y abarca una edad Mioceno Inferior (Ageniense inferior) - Mioceno Superior (Vallesiense superior). Las dos primeras están adosadas al frente montañoso, son de naturaleza conglomerática y presentan bajo porcentaje de arena. Sin embargo, hacia el sur, la Fm Mansilla sustituye a las dos anteriores, con frecuentes cambios laterales de facies. Las litologías mayoritarias en esta última unidad son: arenas, lutitas y carbonatos con un pequeño porcentaje de conglomerados.

Esta unidad aloestratigráfica alcanza gran extensión y una potencia variable. Así, en la zona norte, el espesor máximo es de 2.000 m, mientras que, hacia el sur disminuye de forma progresiva hasta alcanzar, aproximadamente, 600 m en el área de Valencia de Don Juan. Asimismo, la inclinación de las capas varía de norte a sur, desde 20°S y 50°S hasta disponerse subhorizontales.

La macrosecuencia de la unidad aloestratigráfica Candanedo es granocreciente, durante los 800 m basales mientras que, en los 700 m finales se aprecia un carácter granodecreciente. Ello significa que en la parte superior de la unidad se da la retrogradación de las facies distales, arenosas y lutíticas sobre las conglomeráticas proximales. Este hecho se comprueba en los afloramientos, donde las facies distales de la Fm Mansilla solapan a las facies proximales, tanto de la Fm Candanedo (valle del río Curueño) (Fig. 3 A), como de la Fm Villarroquel (valle del río Órbigo) (Fig. 3 B).

Paleogeografía

El dispositivo sedimentario de esta unidad está constituido en el norte por abanicos aluviales (Fms Candanedo y Villarroquel), que hacia el sur, dan paso a una ex-

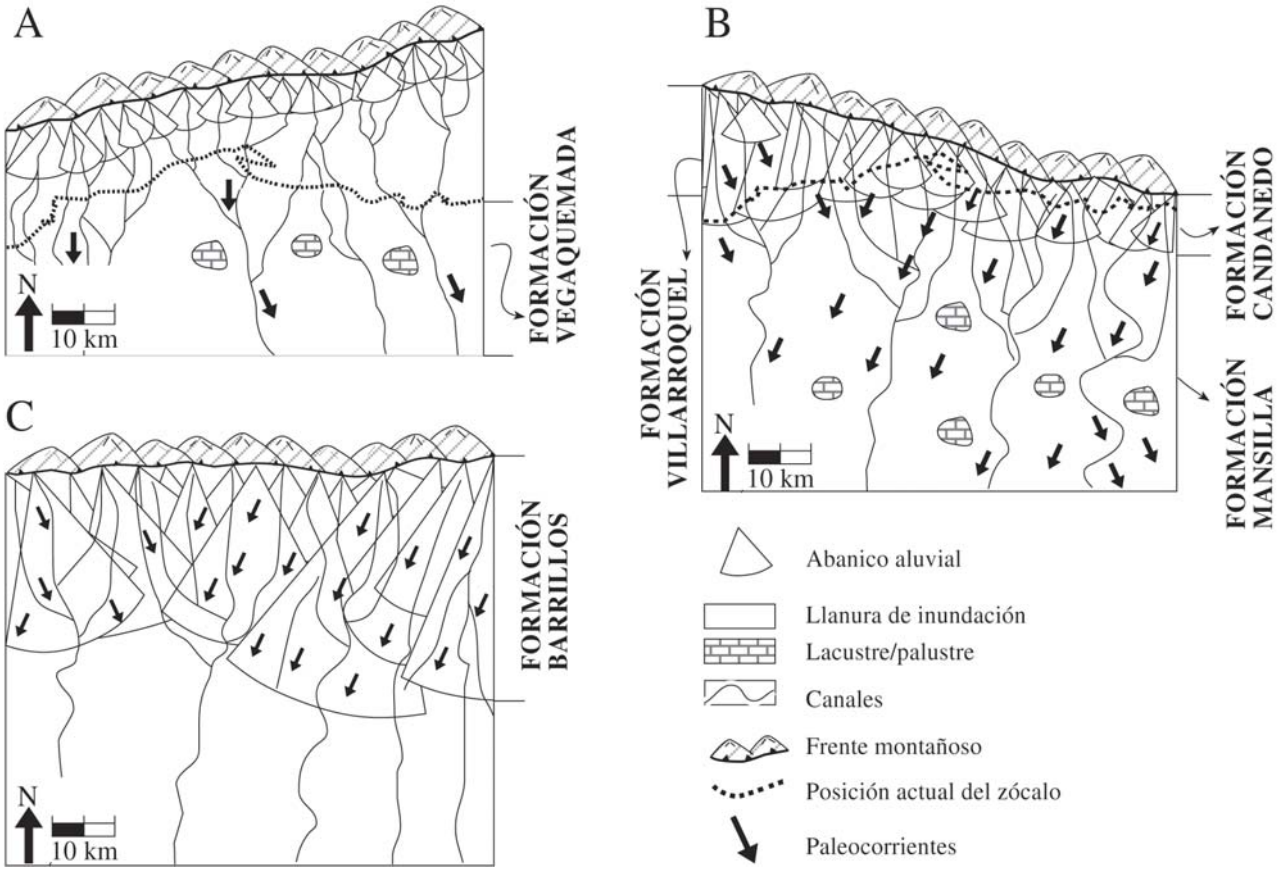

Figura 2.- Mapas paleogeográficos. A) Unidad aloestratigráfica Vegaquemada. B) Unidad aloestratigráfica Candanedo. C) Unidad aloestratigráfica Barrillos. En este último caso, la posición actual del zócalo sería similar a la del frente montañoso.

tensa llanura fluvial con canales y depósitos de llanura de inundación (Fm Mansilla) (Fig. 2 B).

Los abanicos aluviales pueden ser definidos como húmedos y de alta eficacia de transporte con predominio de sistemas fluviales trenzados. En zonas muy proximales de estos abanicos aluviales se localizan depósitos de *debris flows* alternando con depósitos de barras longitudinales de conglomerados.

La llanura fluvial está integrada por una red de canales de baja sinuosidad que proceden de los abanicos aluviales. Estos canales atraviesan una llanura de inundación amplia de carácter lutítico y arenoso, en la que se forman paleosuelos de tipo: carbonatado, con acumulaciones de hidróxidos de hierro y manganeso y con neoformaciones de arcillas. Lateralmente, hacia el sureste los canales tienen una sinuosidad mayor. En esta llanura de inundación aparecen de forma dispersa lagos someros y carbonatados.

Las áreas madres no varían respecto a la etapa sedimentaria anterior. En los sectores noreste y sur continúa, durante la unidad aloestratigráfica Candanedo, el predominio de los clastos poligénicos procedentes de la Zona Cantábrica, mientras que, en la parte oeste prevalecen los clastos silíceos derivados de la Zona Asturoccidental-Leonesa.

Las paleocorrientes durante el depósito de esta unidad se dirigen hacia el suroeste. La mayor parte de las medidas tomadas se encuentran en un arco comprendido entre 210°-240°, señalando sistemas de paleodrenaje en los abanicos aluviales con aportes transversales y oblicuos al frente montañoso que se localizaría hacia el noreste.

Unidad aloestratigráfica Barrillos

Aflora en la parte norte del área estudiada con un espesor máximo de 150 m. Está constituida por la Fm Barrillos y es discordante sobre cualquiera de las unidades aloestratigráficas anteriores. Está caracterizada por facies detríticas gruesas: conglomerados y arenas, con escasas lutitas. La cementación carbonatada está ausente y, con frecuencia aparece una cementación débil y localizada de oxihidróxidos de hierro que confieren a los sedimentos una coloración roja y ocre. La composición que domina en los clastos es de naturaleza silícea. La erosión y encajamiento de la red fluvial actual ha borrado todo el registro sedimentario de las zonas distales de la unidad.

La unidad aloestratigráfica Barrillos representa la tercera y última etapa sedimentaria en la región. Se inicia en el Vallesiense superior y finaliza en el tránsito Turoliense-Rusciniense, previo al encajamiento de la red fluvial actual.

La tendencia de la macrosecuencia es difícil precisarla, ya que no se cuenta con el apoyo esencial de una sección completa.

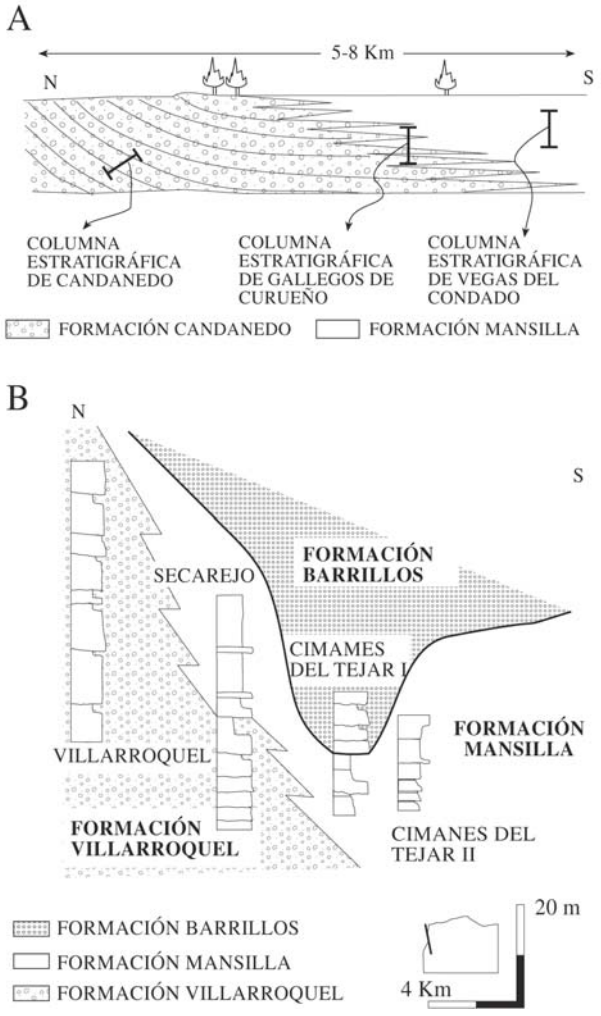

Figura 3.- A) Esquema de campo de la margen izquierda del río Curueño con la situación de las columnas realizadas. Se observa el cambio lateral indentado entre las Formaciones Mansilla y Candanedo. B) Relaciones laterales entre las Formaciones Villarroquel y Mansilla y, la discordancia entre éstas y la Formación Barrillos. Modificada de Herrero (2001). La posición de los cortes está señalada en la figura 1 A.

Paleogeografía

El dispositivo sedimentario de esta unidad está representado por un sistema coalescente de abanicos aluviales instalados al pie del frente montañoso (Fig. 2 C). Una de las diferencias principales con los abanicos aluviales de la anterior unidad es la enorme extensión longitudinal que alcanzan las facies proximales, ya que las facies conglomeráticas se alejan del frente montañoso hasta 40 km.

Al norte, en los sectores proximales estos abanicos muestran procesos sedimentarios de tipo *debris flows*, y al sur, en los sectores medios y distales dominan los sistemas fluviales con canales de baja sinuosidad con depósitos abundantes de barras de conglomerados longitudinales y transversales. Estos canales son someros, con actividad constante y tienen una relación anchura/profundidad alta. Por ello, los abanicos aluviales se pueden definir como húmedos, de alta eficacia de transporte y dominados por sistemas fluviales de baja sinuosidad. El desarrollo de las facies lutíticas propias de llanura de inundación es escaso debido a la gran movilidad que presentan los cauces fluviales.

Las paleocorrientes medidas en la unidad aloestratigráfica Barrillos señalan un sentido hacia el SSO y, localmente, en la zona noroeste se dirigen hacia el SE. Con ello, se evidencia un cambio en la dirección de las paleocorrientes generales de la unidad, al pasar de estar dirigidas hacia 210°-240°, en la unidad aloestratigráfica Candanedo, a dirigirse hacia 180°-200° en la de Barrillos.

La composición litológica de los clastos varía asimismo, en relación a las anteriores unidades. En la unidad aloestratigráfica Barrillos son exclusivamente silíceos. Estas litologías proceden de los relieves de la Zona Cantábrica y de la Zona Asturoccidental-Leonesa, que ocuparían una posición muy parecida a la actual.

Geología del subsuelo

El análisis de 17 perfiles de sísmica de reflexión con un total de 800 kilómetros, complementadas con el estudio de las diagrafías de sondeos próximos a ellas, permitió identificar tres reflectores denominados: basal, intermedio y superior. Todos ellos son definidos como límites de las unidades sísmicas que se diferencian en subsuelo (Fig. 4).

Los reflectores basal e intermedio se hallan afectados por diversas fracturas que únicamente, en la parte norte de algunas secciones llegan a romper al reflector superior (Fig. 5). Se han identificado dos sistemas de fracturas teniendo en cuenta la inclinación del plano de falla.

El primer sistema de fracturas tiene el plano de falla inclinado al norte y se identifica con el conjunto de cabalgamientos frontales alpinos, responsables de la elevación de la Cordillera Cantábrica. Está situado en la parte septentrional del área y tiene una dirección este-oeste. Dentro de este sistema se han localizado tres cabalgamientos: el cabalgamiento principal, el cabalgamiento de El Campillo y el cabalgamiento de Candanedo (Fig. 5).

El cabalgamiento principal es el más importante, marca el límite tectónico de la Cuenca del Duero y cobija a los sedimentos terciarios (Fig. 4) como ya señaló Gómez de Llarena en 1934. Alonso *et al.*, (1996) analizan este cabalgamiento y calculan su desplazamiento. Su trazado tiene una dirección este-oeste, una longitud superior a 50 km, y un ángulo de buzamiento variable entre 20°-30° N. El máximo cobijamiento de aproximadamente 7-8 km se produce entre Guardo y Cistierna y lateralmente decrece. Como se señala en este trabajo, el cabalgamiento lleva asociado un pliegue frontal en los materiales terciarios, que es definido como un sinclinal de flanco norte subvertical. Hacia el este, en la zona de Palencia, el cabalgamiento es reemplazado

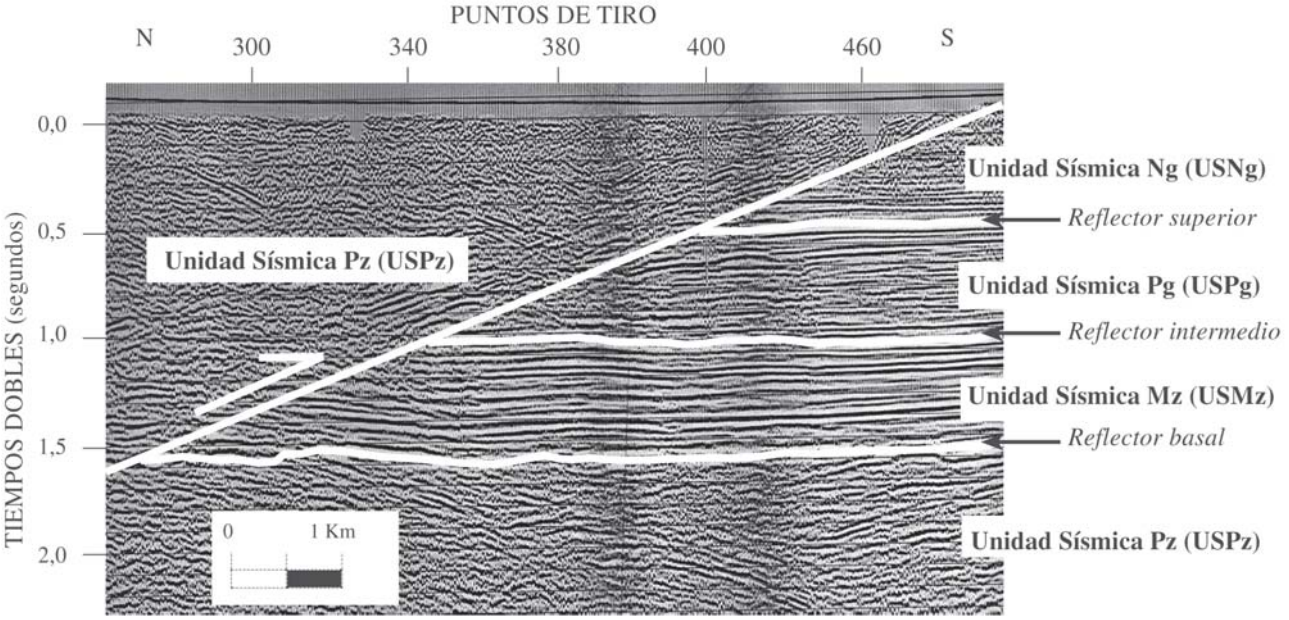

Figura 4.- Parte de una sección sísmica donde se aprecian las unidades sísmicas, los reflectores principales y el cabalgamiento principal que afecta a todas las unidades sísmicas. La situación de la sección sísmica aparece reflejada en la figura 1 B.

por la falla de Becerril, analizada por Espina (1992; 1994) y Espina *et al.* (1994 y 1996).

El cabalgamiento de El Campillo se ubica al sur de la localidad de Guardo (Figs. 5 y 6). A un lado y al otro de esta falla existe una fuerte variación en el espesor de los sedimentos terciarios. Gallastegui (2000) analiza este cabalgamiento señalando un buzamiento entre 25°-30°, una longitud de 27 km y un desplazamiento entre bloques de 650 m. El cabalgamiento afecta a los sedimentos paleozoicos, mesozoicos y al Paleógeno Inferior y fue fosilizado por depósitos de edad Paleógeno medio.

El cabalgamiento de Candanedo está situado al este de dicha localidad. Como los anteriores tiene una inclinación hacia el norte y un trazado este-oeste. Su longitud es de aproximadamente 10 km y un ángulo de buzamiento entre 70°-80° N. Delante de esta estructura se hunden los reflectores formando una pequeña cubeta de diámetro inferior a 10 km^2. Detrás del mismo los parámetros reflexivos se pierden y están distorsionados, posiblemente debido a una fuerte inclinación de las capas.

El segundo sistema de fracturas tiene el plano de falla inclinado al sur. Se localiza por toda la parte meridional del área de estudio (Fig. 5) y está representado por un conjunto de fallas inversas de trazado dirigido principalmente entre N 90º y N 140º. Son accidentes tectónicos preterciarios que afectan a las unidades paleozoicas y mesozoicas y están fosilizados por las unidades terciarias. No obstante, en la parte occidental del área ha persistido su actividad durante la etapa terciaria, como se aprecia en las proximidades de Utrera, al oeste de Villarroquel, donde los sedimentos paleozoicos cabalgan sobre los materiales terciarios. Este sistema de fracturas se crea como respuesta a reactivaciones y rotaciones de cabalgamientos de época varisca.

Unidades sísmicas

Para llevar a cabo la identificación, definición e interpretación de las unidades sísmicas se realizó un estudio de los parámetros de la reflexión: amplitud, configuración, continuidad, frecuencia e intervalo de velocidad, así como de la forma y geometría de la reflexión.

Se han diferenciado cuatro unidades sísmicas denominadas de muro a techo: Paleozoica (USPz), Mesozoica (USMz), Paleógena (USPg) y Neógena (USNg) (Figs. 4 y 7). Están separadas por los reflectores: basal, intermedio y superior. Los dos primeros se identifican en todo el área de estudio debido a su distinta reflectividad. Asimismo, el reflector superior tiene una continuidad alta por toda la zona, si bien, en algunas partes de secciones sísmicas concretas, su continuidad se llega a perder. El estudio se ha centrado en las dos unidades terciarias.

Unidad sísmica Paleógena (USPg)

Se identifica en superficie con la unidad aloestratigráfica Vegaquemada. Las características de las reflexiones de esta unidad sísmica (Fig. 7) son: a) los reflectores internos no se continúan en grandes distancias, y se aprecia una sustitución por otros de características similares mostrando un carácter concordante en las reflexiones basales, b) presentan valores muy bajos de amplitud, c) la frecuencia es baja, siendo algo mayor hacia el norte, d) los reflectores internos en la parte norte de algunas secciones sísmicas aparecen inclinados con ángulos variables de buzamiento y, e) se observa una geometría en

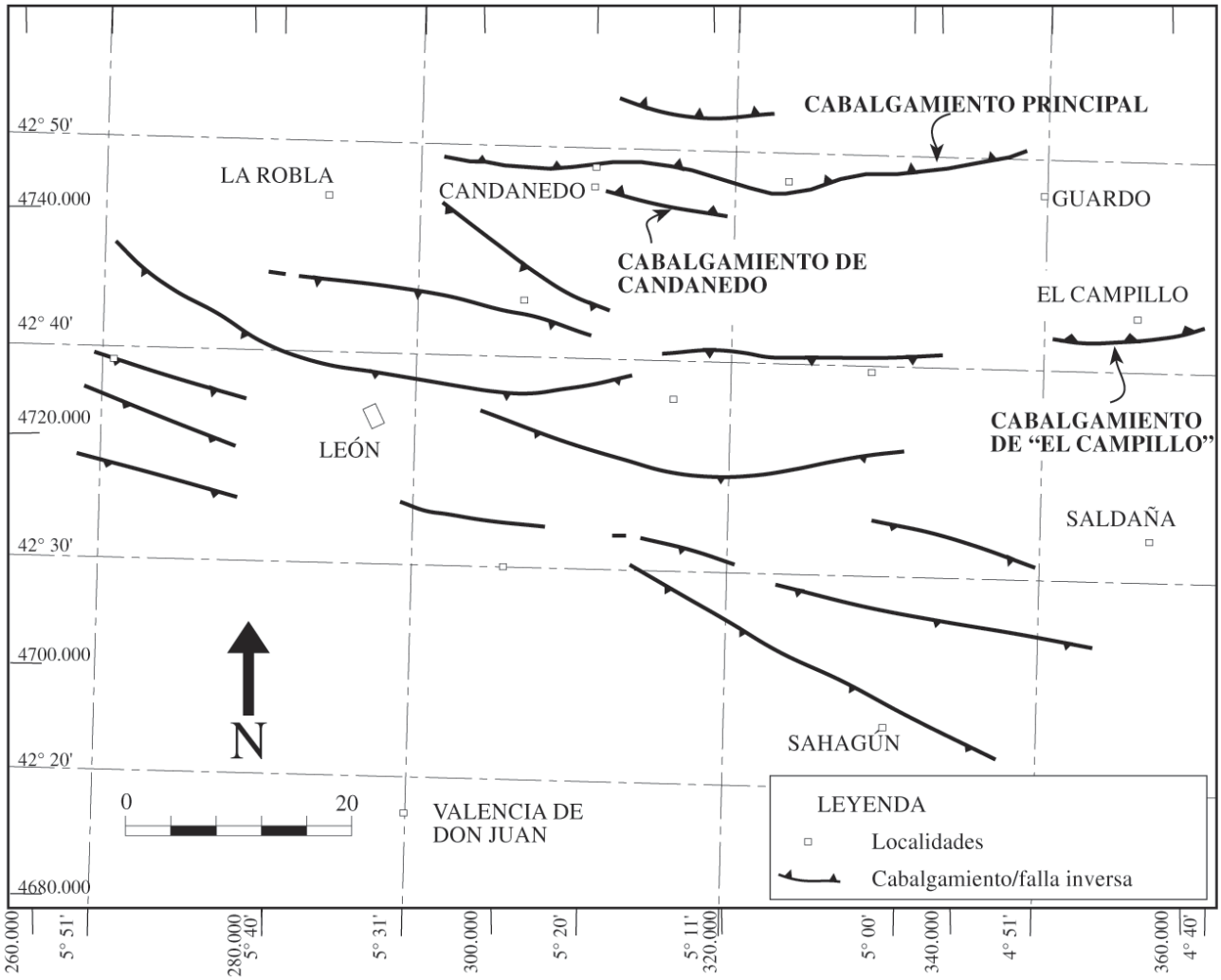

Figura 5.- Posición geográfica de los dos sistemas de fracturas identificados en las secciones sísmicas.

forma de cuña que se abre hacia el noreste y tiene su mínimo espesor hacia el sur y hacia el oeste de la zona estudiada.

Se han realizado los mapas de isolíneas con los valores de la velocidad, del tiempo sísmico, así como los de profundidad para los diferentes reflectores principales obteniéndose los correspondientes mapas de contornos. En el mapa de isovelocidad para el reflector intermedio (límite basal de la USPg) (Fig. 8 A) se pone de manifiesto la existencia, en la zona norte, de velocidades entre 4.200 y 4.600 m/s, valores anormalmente altos, que pueden deberse a la fuerte inclinación de las capas sedimentarias en esta zona, con buzamientos entre 70°S y 80°S. Hacia el suroeste los valores son cada vez menores hasta los 2.000 m/s. Según los ábacos estos valores de isovelocidad se corresponden con arcillas, mezclas de gravas y arcilla y de areniscas.

En el mapa de tiempo sísmico doble (Fig. 8 B) se observa un área con máxima profundidad en tiempo en la zona de Almanza (1,6 s). Las isolíneas muestran valores mínimos al norte, en Vegaquemada, y en las zonas oeste y suroeste, donde se llegan a alcanzar los 0,5 segundos e incluso inferiores.

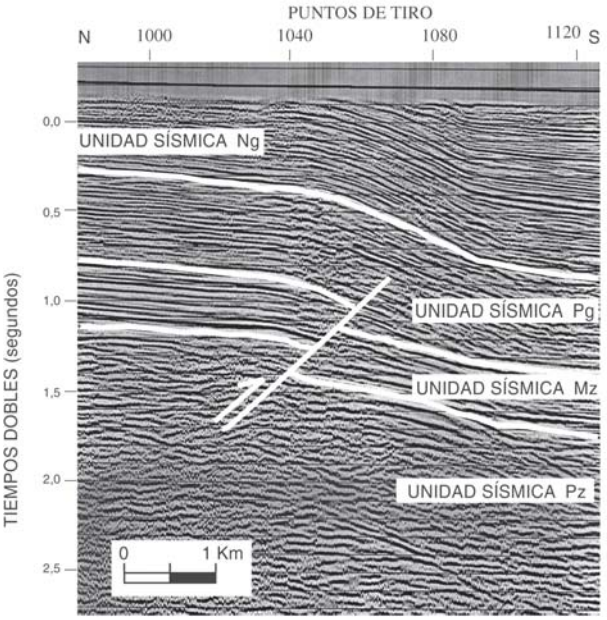

Figura 6.- Parte de una sección sísmica donde se observan las unidades sísmicas Paleozoica (USPz), Mesozoica (USMz) y parte inferior de la Paleógena (USPg) afectadas por el cabalgamiento de El Campillo. La situación de la sección sísmica aparece reflejada en la figura 1 B.

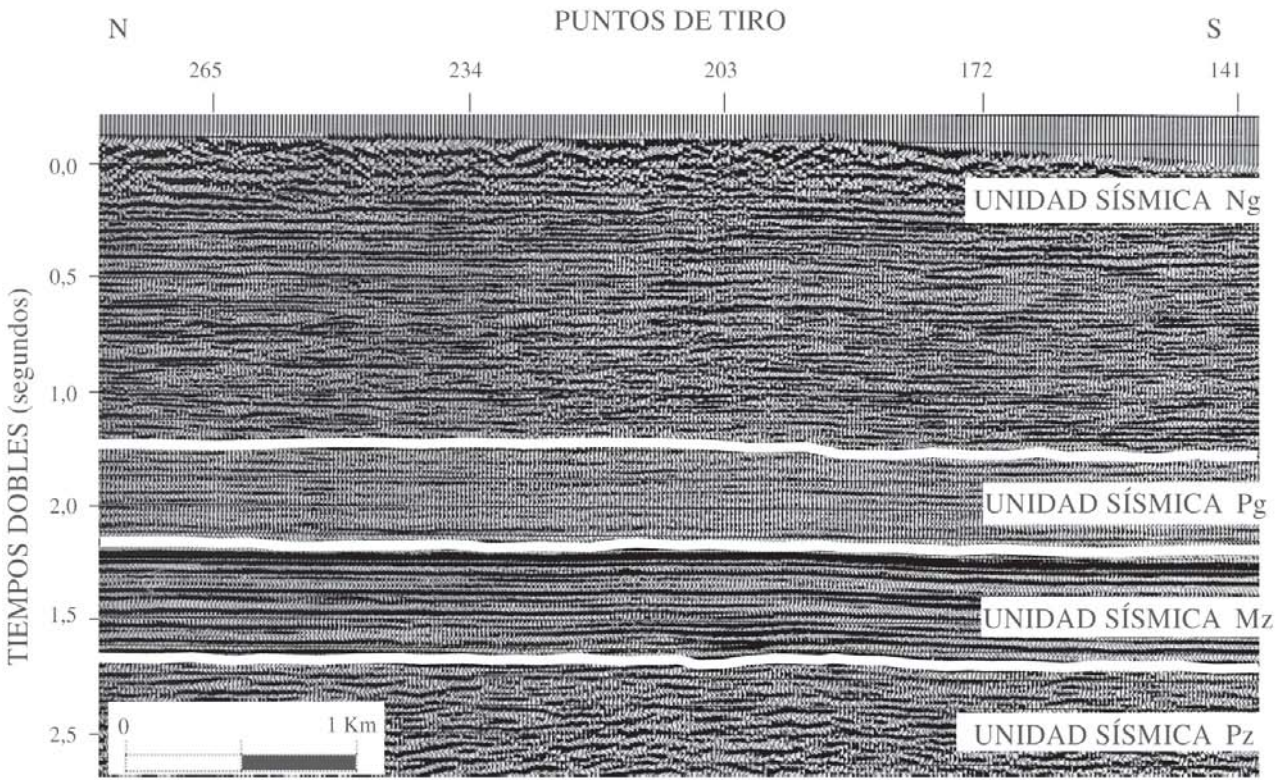

Figura 7.- Parte de una sección sísmica donde aparecen los reflectores subhorizontales en las unidades sísmicas Paleógena y Neógena. La USPg presenta una baja amplitud, una frecuencia menor y una continuidad inferior que en la USNg. La situación de la sección sísmica aparece reflejada en la figura 1 B.

En el mapa de isobatas (Fig. 8 C) obtenido para la base de la USPg se identifican formas de domos y cubetas relacionadas con las fracturas de la base de la USPg (Fig. 8 C). Se aprecia una zona con valores de profundidad superiores a los 2.800 m entre las localidades de Cistierna y Almanza. Fuera de este área los valores de profundidad disminuyen hasta 500 m, tanto hacia el oeste como al suroeste. Este mapa proporciona las profundidades de la base del Terciario de la zona estudiada.

Unidad sísmica Neógena (USNg)

El límite inferior con la unidad infrayacente es el reflector superior. Este reflector se puede seguir en todas las secciones sísmicas, aunque, en espacios pequeños se ha tenido que deducir, debido a una pérdida de los parámetros sísmicos intrínsecos de las unidades, posiblemente ocasionados por deficiencias en la adquisición y procesado de la señal.

La USNg tiene mayor espesor que la anterior y se corresponde en superficie con las unidades aloestratigráficas Candanedo y Barrillos. Los atributos sísmicos más característicos (Fig. 7) son: a) los reflectores internos presentan una mayor continuidad lateral tanto en las áreas del norte como hacia el sur, b) la amplitud al norte es fuerte y en el sur moderada a baja, c) la frecuencia suele ser alta, aunque localmente llegue a ser moderada, y es el carácter más representativo de esta unidad, d) la configuración de los reflectores es oblicua en la zona norte, entre 30-40° de inclinación y, hacia el sur, se pierde paulatinamente hasta ser casi subhorizontales y, e) muestra una geometría en forma de cuña abierta hacia el noreste. La terminación de los reflectores es concordante en la base, mientras que, en el techo presentan un *toplap,* bien identificado en la zona norte. Los espesores mínimos se localizan en la zona sur, mientras que los máximos se ubican en la zona noreste, eje La Robla-Saldaña.

Al norte, la USNg está afectada por el conjunto de cabalgamientos frontales alpinos. En la zona occidental del área se apoya sobre la USPg o sobre la USPz.

El mapa de isovelocidades (Fig. 9 A) para el límite basal de la USNg muestra los mayores valores con más de 4.000 m/s en las áreas del norte, en las localidades de Cistierna y Candanedo. Estos valores altos son respuesta a conglomerados ubicados en esas localidades. Hacia el sur los valores no son nunca inferiores a 2.000 m/s, indicando litologías de arena y arcilla.

En el mapa de isocronas (tiempo sísmico doble) del reflector superior (Fig. 9 B) el máximo se encuentra en la localidad de Almanza con valor superior a 1,2 segundos. Las isolíneas muestran una morfología en forma de surco alargado en dirección noroeste-sureste definiendo el eje La Robla-Saldaña.

El mapa de isobatas del reflector superior (Fig. 9 C) muestra profundidades mximas de la USNg en la dirección NO-SE, eje La Robla-Saldaña. Aparecen

dos zonas con mayores profundidades localizadas en las proximidades de Barrillos (1.700 m) y Almanza (1.900 m). Las isolíneas disminuyen su valor progresivamente hacia el norte y hacia el sur. En la zona norte la disminución de los valores de la profundidad pueden deberse a un efecto de distorsión creado por la inclinación de las capas. Al norte del cabalgamiento de El Campillo se delimita un área donde las isolíneas de los mapas obtenidos para las USPg y USNg muestran valores inferiores a los que se dan al sur de la misma. Por ello, no se descarta que durante el Terciario actuara como paleorrelieve.

El mapa de isopacas de la unidad sísmica Paleógena (USPg) (Fig 10) se obtuvo al restar las profundidades obtenidas de los mapas de isobatas de los reflectores intermedio y superior. Las isolíneas definen una morfología de domos y cubetas y una geometría en forma de cuña para la USPg. Los máximos espesores se sitúan al norte donde se alcanzan valores de 1.600 m al este de Candanedo, de 1.400 m al noreste de Almanza y de 1.100 m al este de La Robla. Los valores medios del espesor se sitúan en torno a los 1.200 m. El espesor disminuye progresivamente hacia el sur hasta alcanzarse valores inferio-

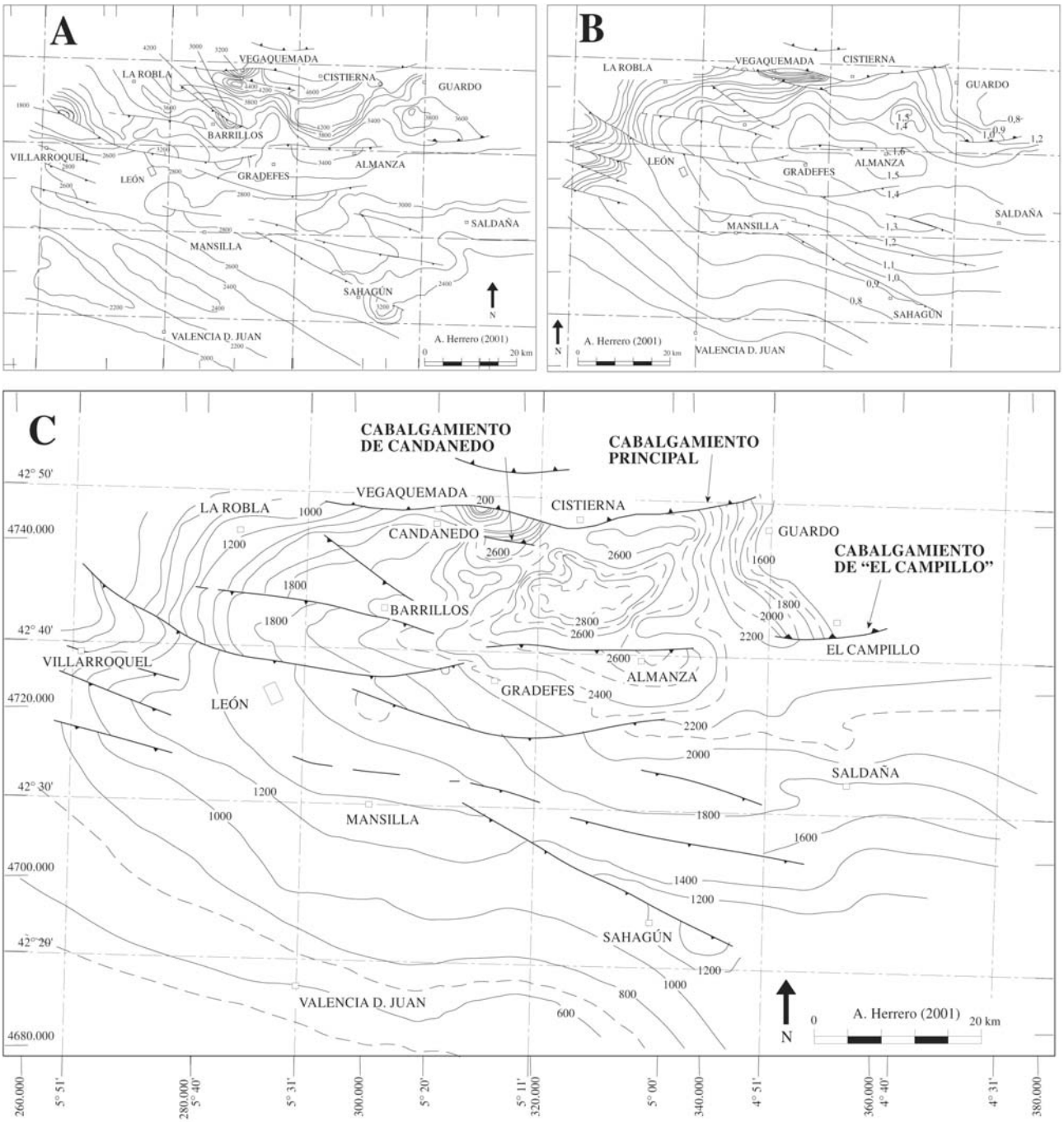

Figura 8.- Mapas de isovelocidad (A), de tiempo sísmico doble (B) e isobatas (C) para el reflector intermedio (límite basal de la unidad sísmica Paleógena, USPg). El intervalo de contorno es de 200 metros/segundo, 0, 1 segundos y 200 metros, respectivamente. El plano de referencia es el de 900 m sobre el nivel del mar.

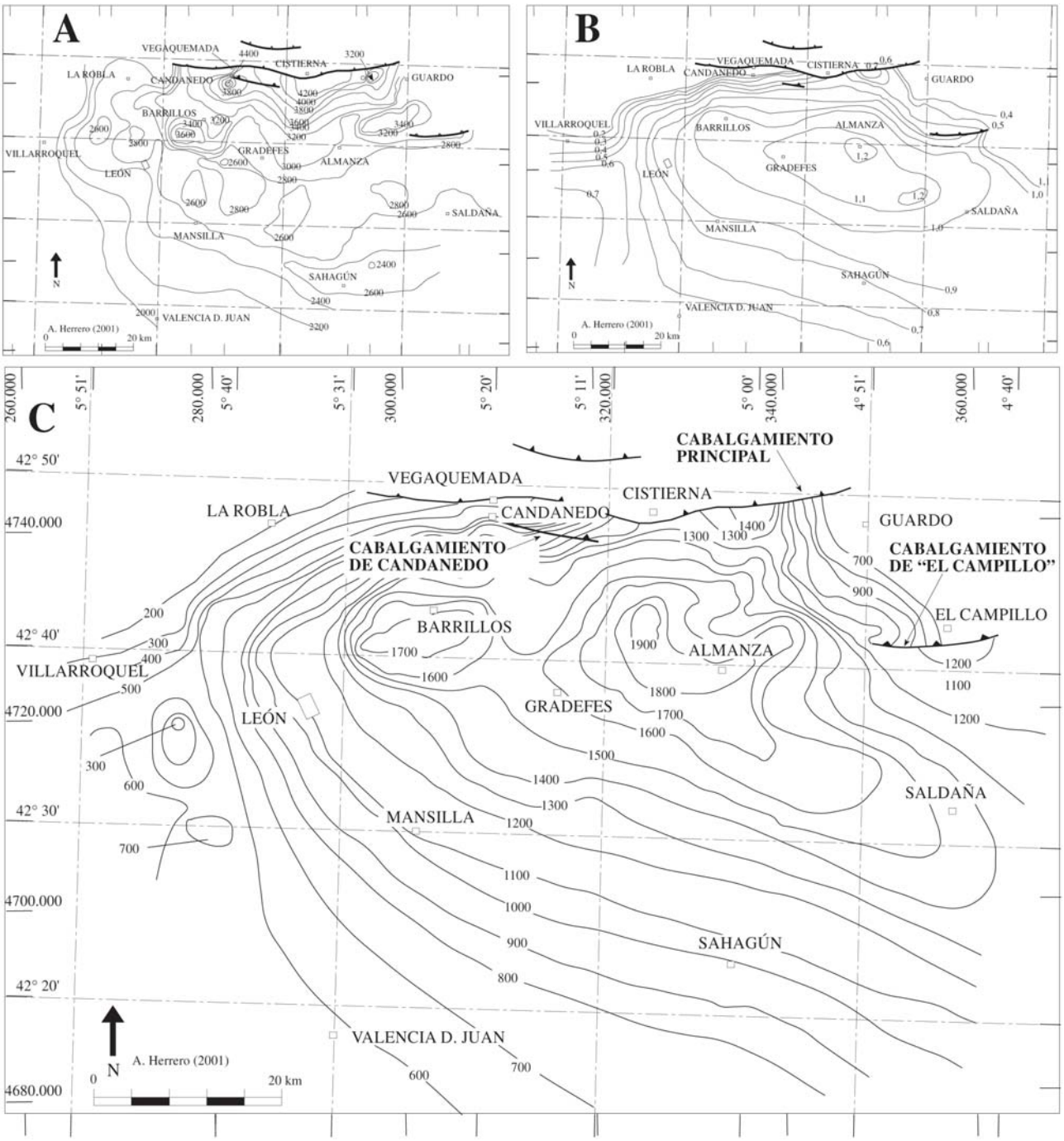

Figura 9.- Mapas de isovelocidad (A), de tiempo sísmico doble (B) e isobatas (C) para el reflector superior (límite basal de la unidad sísmica Neógena, USNg). El intervalo de contorno es de 200 metros/segundo, 0, 1 segundos y 100 metros, respectivamente. El plano de referencia es el de 900 m sobre el nivel del mar.

res a los 100 m en la localidad de Valencia de Don Juan. Esta geometría es indicativa de la existencia de un surco configurado en la USPg y adosado al frente montañoso.

Análisis de las diagrafías

Se han analizado numerosos sondeos entre los que cabe señalar los de Santa María del Monte del Condado, Villaquilambre, Sahagún de Campos, Fresnellino, Cembranos, Grajal de Campos y los sondeos de exploración de hidrocarburos: El Campillo, León-1, León-1 bis y Villameriel-1. La mayor parte de los sondeos se ubican algo alejados de la Cordillera Cantábrica y sus profundidades permiten investigar los 700 m superiores de la USNg.

Para cada uno de los sondeos se han analizado los parámetros geofísicos haciendo hincapié en los gradientes de las propiedades físicas y químicas medidas y se ha realizado el análisis secuencial y arquitectura estratigráfica.

En el ejemplo del sondeo de Villaquilambre (Fig. 11) los parámetros geofísicos fueron: la resistividad monoelectródica, el potencial espontáneo y la radioactividad gamma-natural. La arquitectura estratigráfica de este sondeo muestra cuatro secuencias completas y otras dos incompletas al faltarle el techo o el muro. Están ordenadas en secuencias menores presentando formas de campana (granodecrecientes) o de embudo (granocrecientes). En la mitad inferior (210 m basales) son más abundantes los tipos en campana, embudo y cilíndrica, y a partir de los 210 m las formas son más homogéneas sin ninguna tipología definida. Estos hechos parecen reflejar que las capas de conglomerados son más abundantes en la mitad inferior 458-210 m y, hacia el techo, se da una disminución de la granulometría. Todo ello permite interpretar una tendencia de tipo granodecreciente para todo el sondeo.

El análisis secuencial general para los 700 m superiores de la unidad sísmica Neógena (USNg) muestran una tendencia general granodecreciente. Asimismo, se observa que si las unidades conglomeráticas progradaran hacia el sur, necesariamente tendrían que aparecer en la parte superior de los sondeos numerosas capas de conglomerados. Este hecho no se da y, por tanto, se puede deducir una tendencia retrogradante al menos para esos 700 m superiores de la USNg (Herrero, 2001). Ello permite corroborar que la parte superior de la Formación Mansilla se apoya, hacia el norte, sobre las Formaciones Candanedo y Villarroquel (Fig. 12), hecho ya observado en superficie.

En la correlación realizada (Fig. 13) sólo se identifica la USNg que se corresponde en superficie en este área con la Formación Mansilla. En los sondeos situados al suroeste, Pobladura de Pelayo García, León-1, León-1 bis, también aparecen las unidades sísmicas del zócalo, USPz y USMz. En superficie la Formación Mansilla se caracteriza por presentar canales de conglomerados y arenas intercalados entre lutitas y fangos. Este hecho, está registrado también en el subsuelo, pero la ausencia de niveles de referencia y las distancias kilométricas entre los sondeos impide concretar la correlación con certeza y la definición morfológica de los cuerpos sedimentarios.

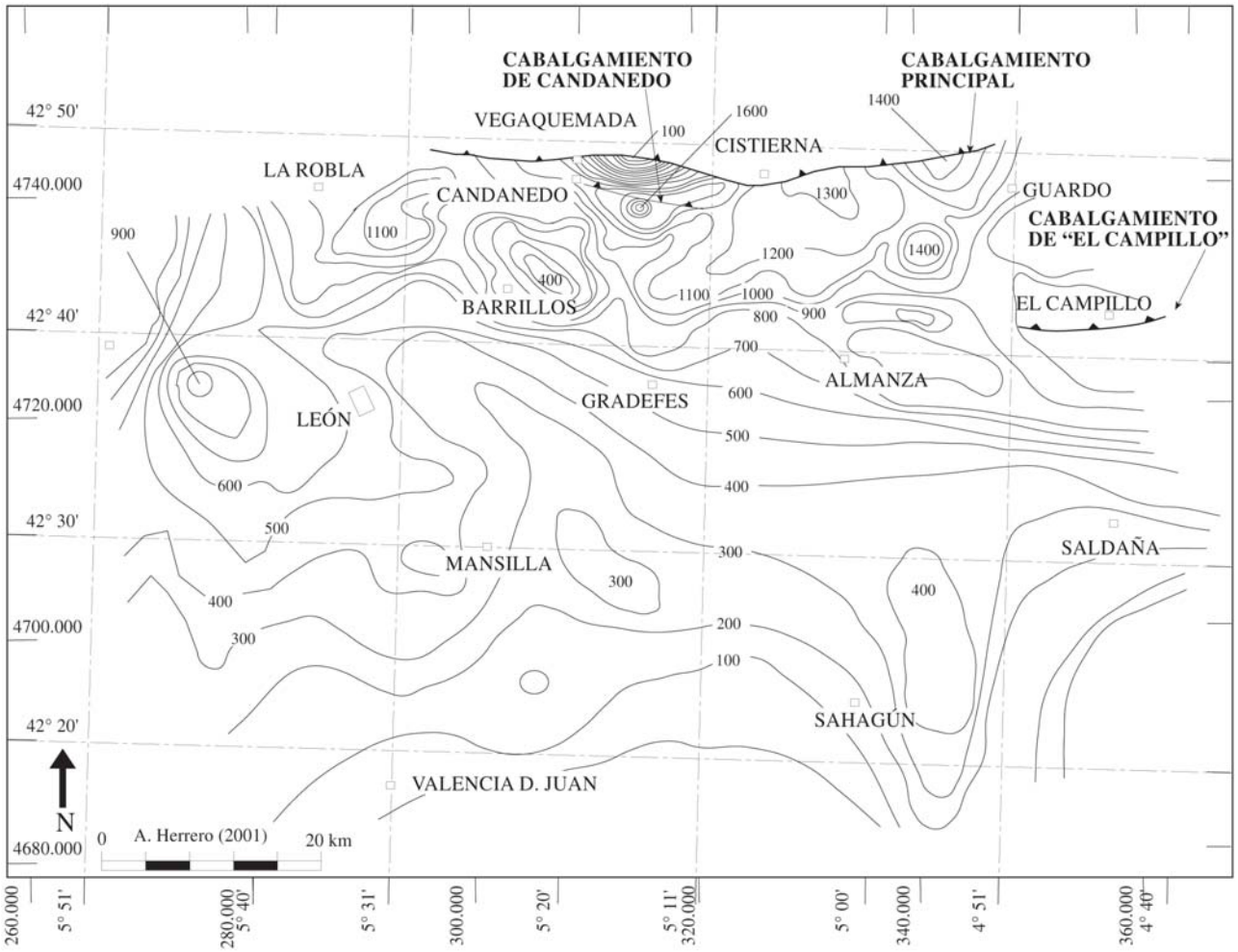

Figura 10.- Mapa de isopacas de la unidad sísmica Paleógena (USPG). Intervalo de contorno de 100 metros. El plano de referencia es el de 900 m sobre el nivel del mar.

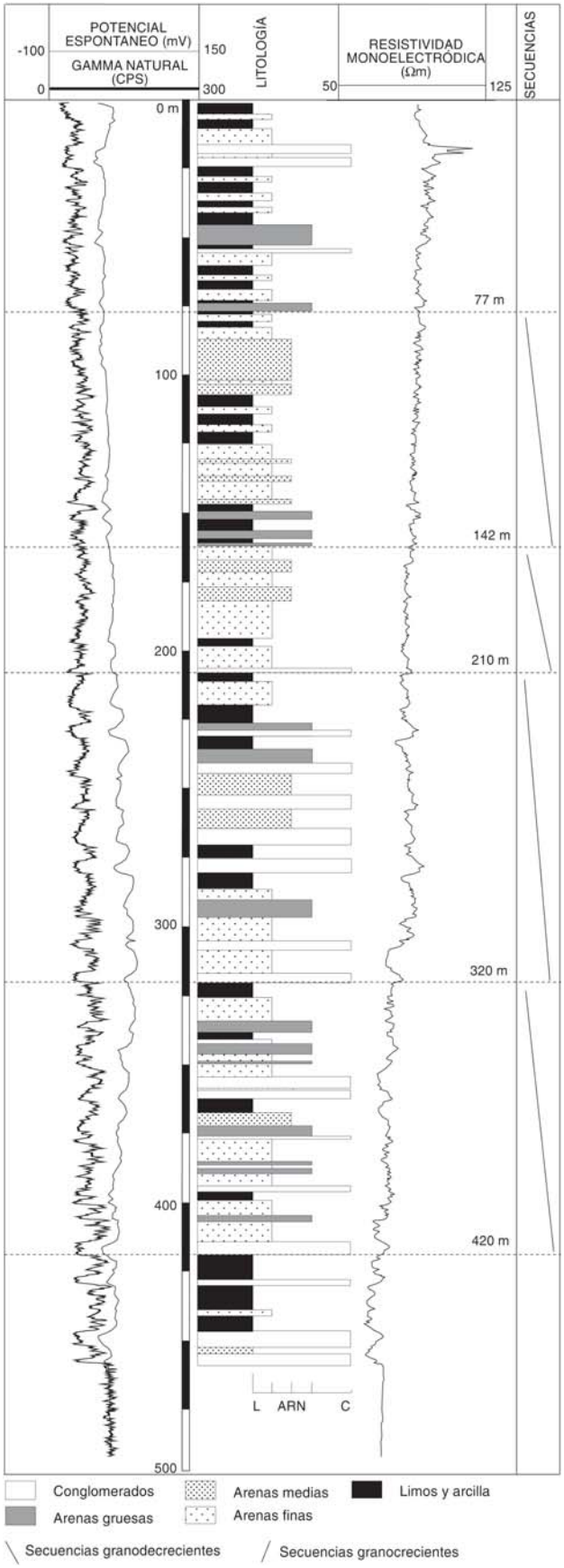

Figura 11.- Sondeo de Villaquilambre.

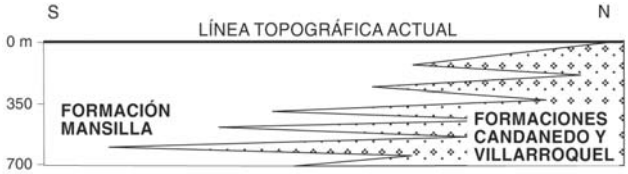

Figura 12.-Retrogradación de las Fms Candanedo y Villarroquel hacia el norte y la consiguiente expansión de la Fm Mansilla, en los 700 m superiores de la unidad sísmica Neógena (USNg).

Geometría del relleno sedimentario. Cuenca de antepaís

Teniendo en cuenta la correlación realizada con las secciones sísmicas, los datos de los sondeos y profundidades obtenidas de los mapas de isobatas para las unidades sísmicas Paleógena y Neógena (USPg y USNg), se han confeccionado varios paneles de correlación de las unidades sísmicas (Figs. 13, 14 y 15). De su estudio se desprende: a) la posición de los límites y la extensión cuencal de los mismos; b) la geometría en forma de cuña tanto para la unidad sísmica Paleógena (USPg) que se cierra hacia el sur y oeste, como para la unidad sísmica Neógena (USNg) con espesor mayor al norte; c) el progresivo hundimiento del basamento paleozoico y mesozoico (USPz y USMz) de la Cuenca del Duero hacia el norte y el este; d) la disminución del espesor de las unidades terciarias (USPg y USNg) hacia el sur y desde Villameriel hacia el oeste y, e) la presencia de una discontinuidad entre la USNg y la USPz en el suroeste.

El dato que corrobora la pérdida de espesor de las unidades terciarias hacia el este se obtiene al observar los sondeos El Campillo y Peña-1 y comparar sus características geológicas. El primero de ellos presenta un espesor de 1.838 m para todo el Terciario, de los que 813 m pertenecen a la USPg y 1.025 m a la USNg. En el sondeo Peña-1, ubicado al este del anterior, el espesor para todo el Terciario continental es de 930 m, según Lanaja *et al.* (1987).

Otro hecho destacable es la presencia a profundidades próximas a 500 m de las unidades sísmicas Paleozoica (USPz) y Mesozoica (USMz) en los sondeos León-1, León-1 Bis y Pobladura de Pelayo García, ubicados al suroeste del área de estudio. En cambio, en los sondeos Villameriel-1 y El Campillo situados más hacia el este, aparecen estas mismas unidades por debajo de los 1.800 m. Esta diferencia de cota marca la existencia en la zona suroeste, área de Valencia de Don Juan, de una elevación topográfica del zócalo en dirección noroeste-sureste que constituye un paleorrelieve. Esta elevación del fondo de la Cuenca del Duero es detectada por sísmica de reflexión y en la correlación de los sondeos.

Para explicar esta elevación del basamento es necesario tener en cuenta la estructura del zócalo que aparece en el sector suroeste de la provincia de

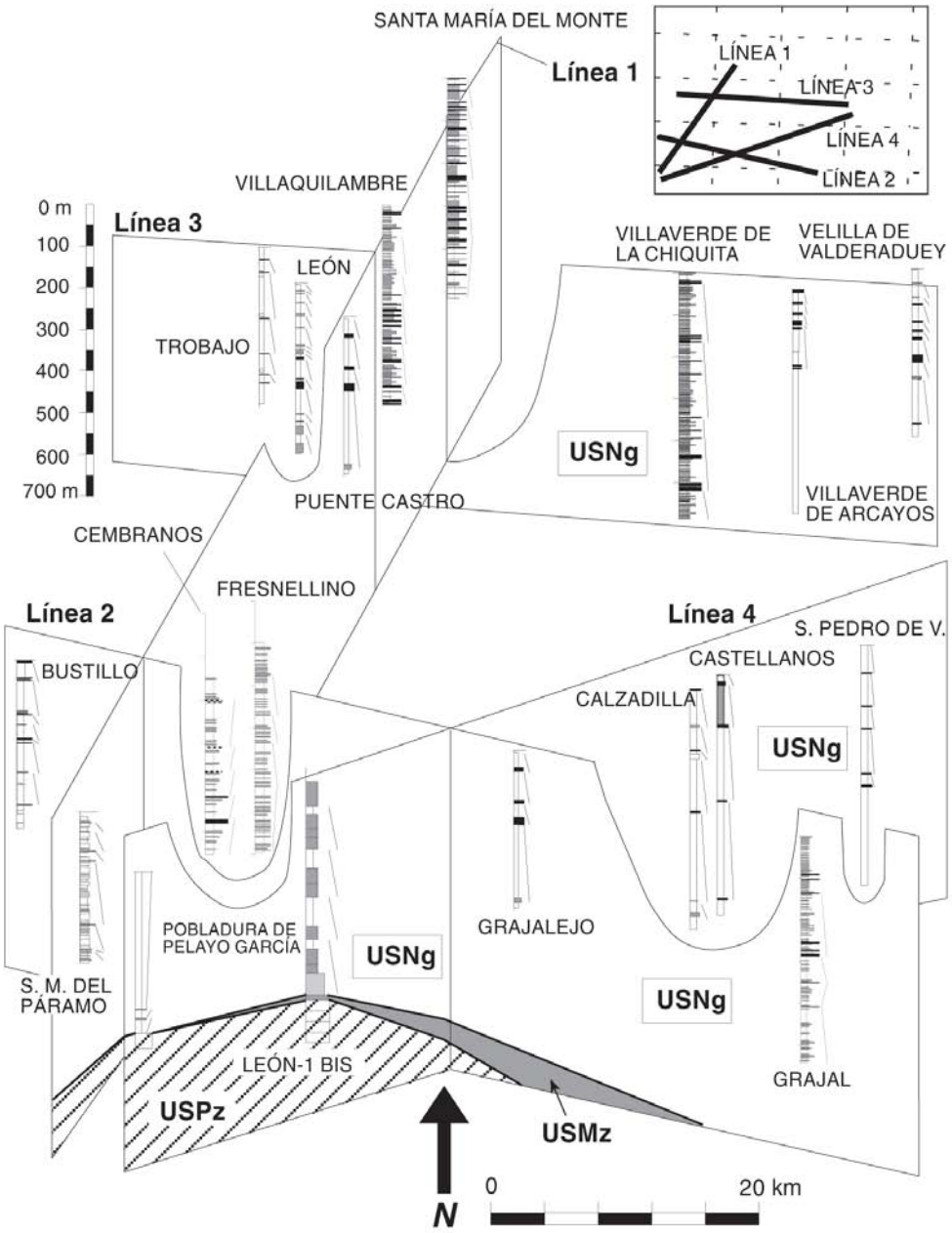

Figura 13.- Panel de correlación realizado con los sondeos donde se atraviesan las unidades sísmicas: USPz, USMz y USNg. Se han apartado algunos sondeos para facilitar la observación de la geometría de las unidades. Modificada de Herrero (2001).

León. En este sector la Zona Asturoccidental-Leonesa se caracteriza por presentar un conjunto de cabalgamientos (Cabalgamiento basal del Manto de Mondoñedo, Cabalgamiento de Valdueza), fracturas (Falla del Morredero como prolongación de la Falla de Vivero) y pliegues (Anticlinal del Teleno y Pliegues de Tuchas), entre otros señalados por Heredia *et al.* (1994). Estas estructuras tectónicas presentan direcciones comprendidas entre N 100º y N 140º antes de desaparecer debajo de los sedimentos terciarios de la Cuenca del Duero. Esta elevación del zócalo se identifica con la prolongación del Cabalgamiento basal del Manto de Mondoñedo hacia la Cuenca del Duero y con las estructuras existentes detrás del mismo (Herrero, 2001). Las unidades USMz, USPg y USNg muestran un adelgazamiento progresivo hacia el suroeste y, la USPg no aparece en los sondeos León-1, León-1 bis o Pobladura de Pelayo García (Fig. 13). Esta pérdida de espesor se podría explicar con el rejuego, durante diferentes etapas terciarias, de la prolongación del Cabalgamiento basal del Manto de Mondoñedo y de las estructuras tectónicas asociadas. Por ello, esta elevación ejerció un control sedimentario activo durante la USMz y la USPg, y su actividad fue menor durante la etapa de la USNg.

Asimismo, se puede definir una geometría en forma de surco alargado en dirección NO-SE para el Terciario del dominio noroccidental de la Cuenca del Duero corroborando el observado en el mapa de

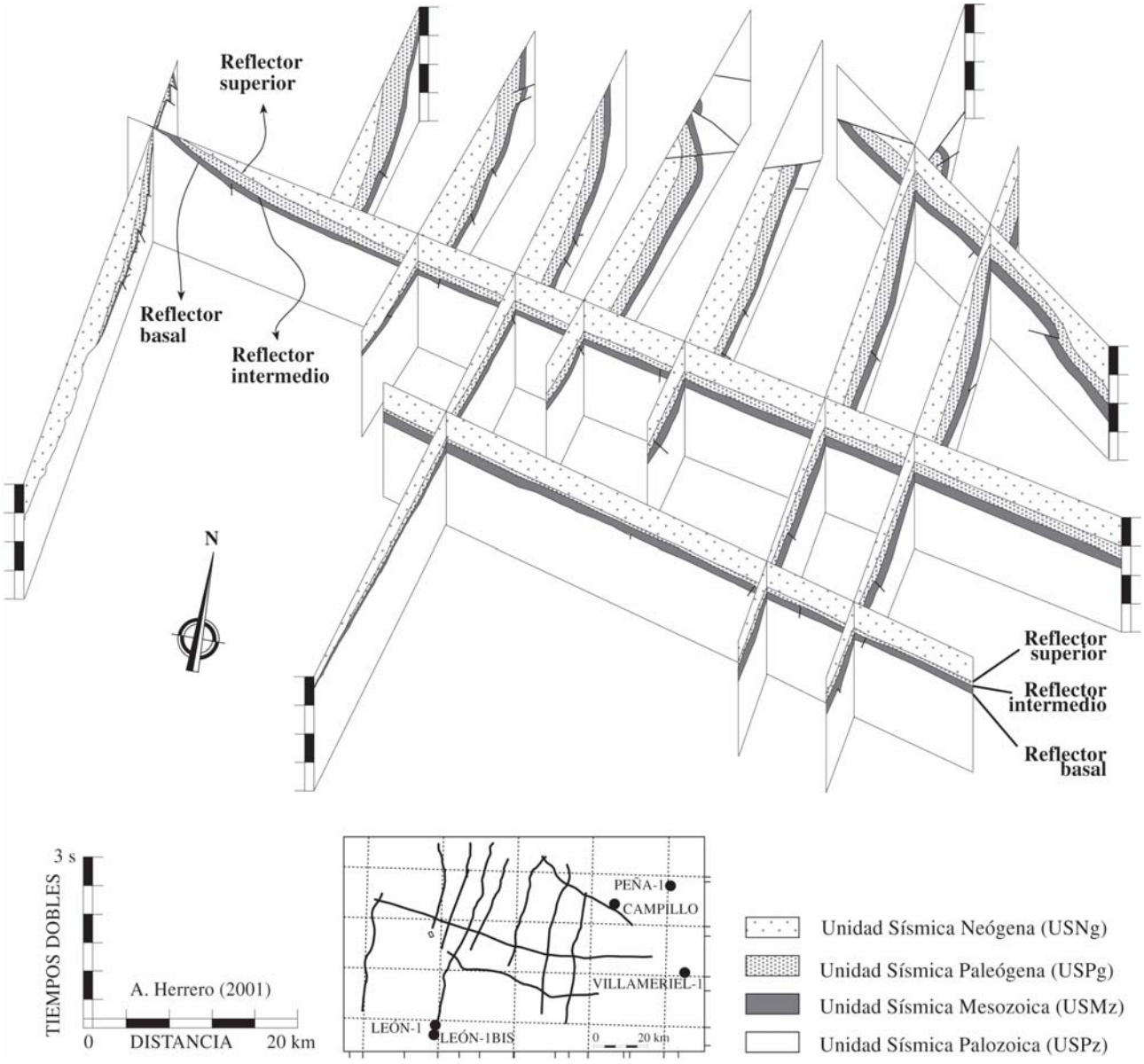

Figura 14.- Situación geográfica y panel de correlación de las principales secciones sísmicas donde se aprecia la geometría tridimensional y las fracturas que afectan a las unidades sísmicas, modificada de Herrero (2001).

isobatas para la base del Terciario (Fig. 8 C). La forma del surco es asimétrica, más profunda en la zona situada delante del cabalgamiento frontal alpino, y más somero en la zona sur y este. Este surco está afectado por los dos sistemas de fracturas definidos, tanto por el que tiene el plano de falla inclinado hacia el sur, como por el que muestra el plano de falla buzando al norte. Esta geometría presenta una configuración y unas características tectónicas y estructurales similares a las de un surco de antepaís (Fig. 16), modelo que fue considerado por Mabesoone (1959 y 1961), de Jong (1971), Alonso *et al.* (1996) y Gallastegui (2000) para el dominio noroccidental de la Cuenca del Duero. Dicho modelo es similar al propuesto por DeCelles y Giles (1996) y seguido, asimismo por Herrero (2001).

En efecto, las secciones sísmicas y los mapas de isobatas de las unidades terciarias muestran una geometría, que se puede relacionar con un surco asimétrico de antepaís (Fig. 16). En el subsuelo, el zócalo aparece a profundidades de 2.800 m en zonas próximas al contacto con la Cordillera. Hacia el sur y hacia el oeste, su profundidad va disminuyendo hasta los 600 m en las proximidades de Valencia de Don Juan. La unidad sísmica Paleógena (USPg) tiene una geometría en forma de cuña, con espesores máximos en las zonas norte y este y mínimos hacia el suroeste (Fig. 10). Esta forma de cuña se relaciona con una mayor subsidencia en la zona norte. Asimismo, la unidad sísmica Neógena (USNg) presenta una geometría también en forma de cuña, con profundidades mayores localizadas al norte del eje La Robla-Saldaña (noroeste de Almanza) y mínimas en la zona suroeste del área estudiada (Fig. 9 C). Esta geometría permite suponer que el dominio nor-occi-

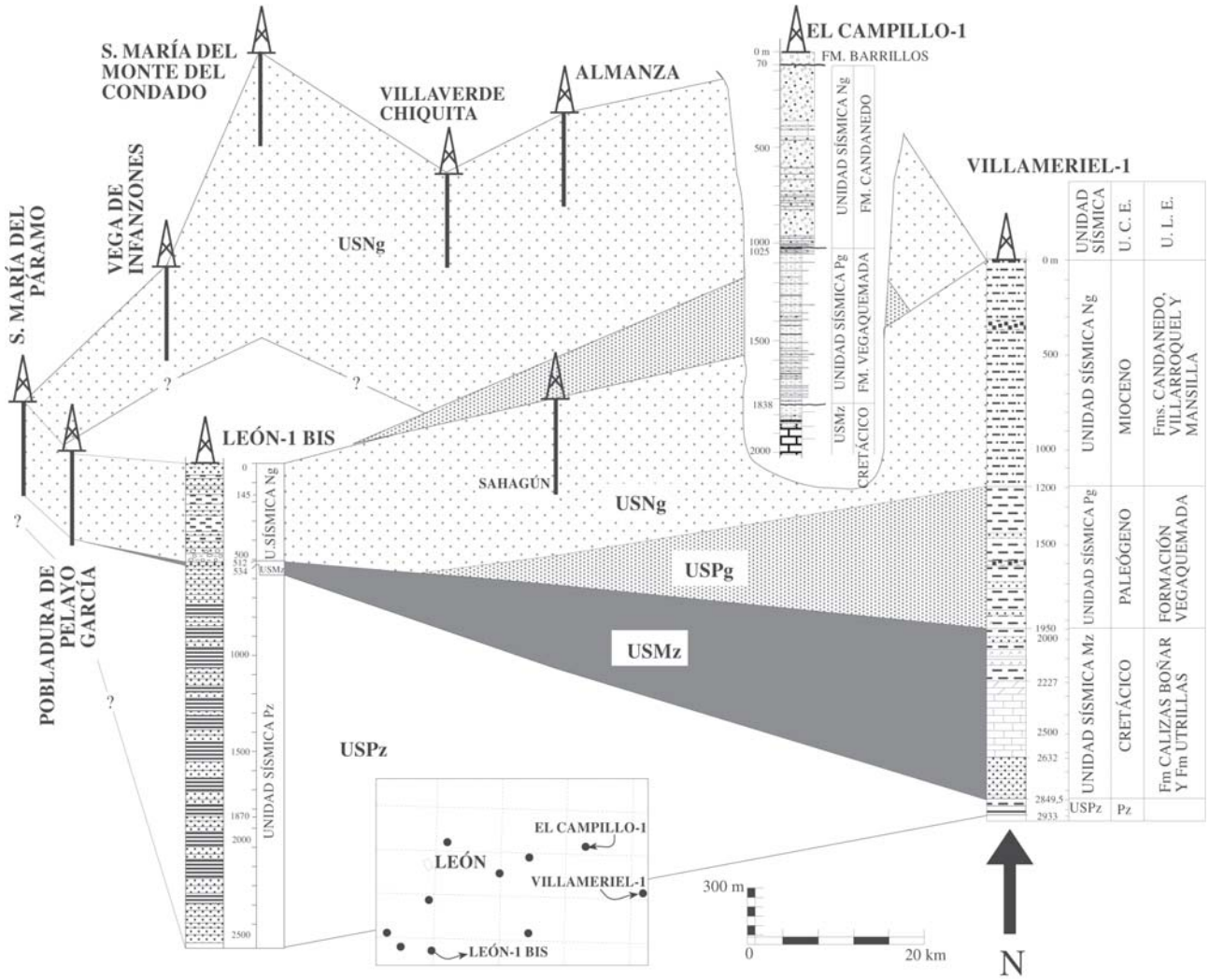

Figura 15.- Situación geográfica de los principales sondeos y correlación donde se cortan las unidades sísmicas USPz, USMz, USPg y USNg. Modificada de Herrero (2001).

dental de la Cuenca del Duero, con un espesor de sedimentos de 3.500 m tuvo un comportamiento de cuenca de antepaís.

El surco (*foredeep*) tiene una orientación este-oeste y se localiza delante del cabalgamiento frontal alpino que eleva la Cordillera Cantábrica. Ello permite calcular una anchura para esta zona que sobrepasa los 40 km y una longitud que supera la zona estudiada. Las fallas inversas que aparecen en el fondo del surco se corresponden con el sistema de fracturas con el plano de falla inclinado hacia el sur. El resultado final muestra un basamento paleozoico y mesozoico fracturados y estructurados en escalera que se hunden, progresivamente hacia el norte. La reconstrucción de la evolución terciaria de las unidades aloestratigráficas permite definir la geometría que presenta la cuenca sedimentaria (Fig. 17).

Una de las características propias de una cuenca de antepaís es la migración de los depocentros hacia el cratón conforme avanza la deformación. En la zona estudiada, las zonas de mayor profundidad terciaria migran hacia el sur (Figs. 17 y 18). Las zonas de máxima profundidad para la unidad sísmica Paleógena (USPg) debieron situarse algo más al norte que las de la unidad sísmica Neógena (USNg), que se localizan al norte del eje La Robla-Saldaña (NO-SE). De este modo, el surco está abierto hacia el sureste y configura la cuenca en la zona de estudio como un paleosurco con eje NO-SE.

El umbral periférico (*forebulge*) que es la región de potencial levantamiento flexural en la zona cratonizada delante del surco, se identifica en la zona suroeste del área, al apreciarse una elevación del zócalo en varias secciones de sísmica de reflexión, y también está reflejada por una mínima profundidad de la cuenca en esta zona, como se aprecia en los mapas de isobatas.

En las proximidades de Valencia de Don Juan, el afloramiento de un basamento casi superficial indica la existencia de un posible umbral periférico en el subsuelo de la Cuenca del Duero. Esta zona se prolonga al oeste hacia el Cabalgamiento basal del Manto de Mondoñedo. Todas las unidades sísmicas terciarias presentan profundidades mínimas en esa zona por

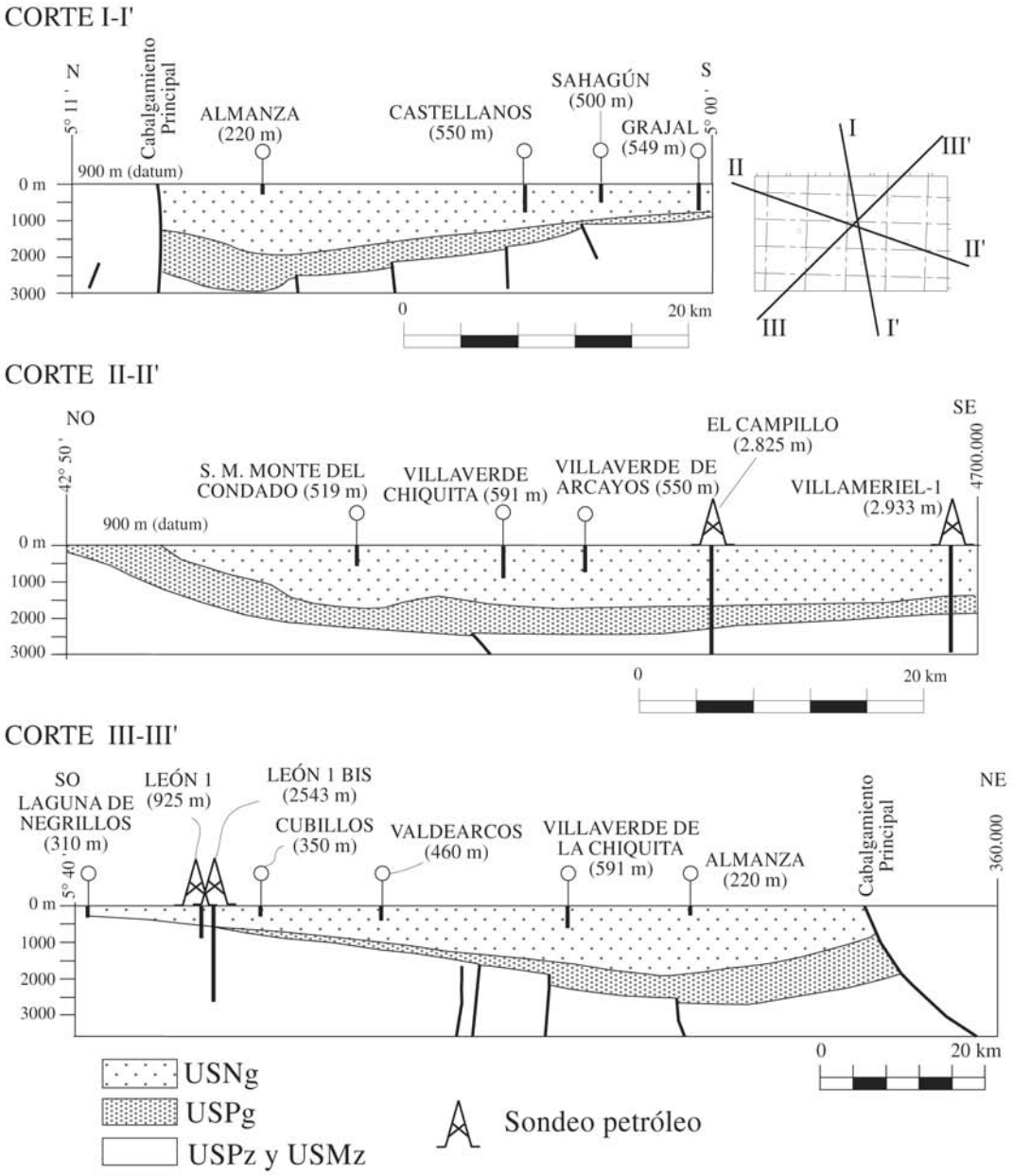

Figura 16.- Cortes donde se muestra como varían la profundidad de las unidades sísmicas USPg y USNg, así como la geometría y la fracturación que afecta a estas unidades y al zócalo.

lo que la zona del umbral periférico manifiesta rasgos de haber sufrido una elevación flexural constante durante el Terciario. El rejuego de este accidente y estructuras tectónicas asociadas habría dado lugar a la formación de una barrera para la sedimentación en el Paleógeno. Durante la etapa de sedimentación de la unidad sísmica Neógena esta barrera es sobrepasada y permanece enterrada. En este sentido, la zona de umbral periférico no parece ser sobrepasada por la unidad aloestratigráfica Vegaquemada y es fosilizada en parte por la unidad aloestratigráfica Candanedo.

Conclusiones

El registro sedimentario terciario del sector noroccidental de la Cuenca del Duero se divide en tres unidades aloestratigráficas: Vegaquemada, Candanedo y Barrillos. Se resumen las principales características sedimentarias y la paleogeografía para cada unidad.

En subsuelo se han diferenciado cuatro unidades sísmicas, de las cuales una, representa a los sedimentos paleozoicos (USPz) otra, a los mesozoicos (USMz) y las otras dos, se han asignado al Terciario (USPg y USNg). Para estas dos últimas se han obtenido los mapas de isovelocidad, isocronas y de isobatas, así como su correlación con las unidades sedimentarias de superficie. El estudio de la geometría que presentan las unidades sísmicas establecidas permiten definir, para este sector de la Cuenca del Duero un surco de antepaís subsidente delante del frente montañoso de la Cordillera Cantábrica y un umbral periférico elevado hasta los 500 m.

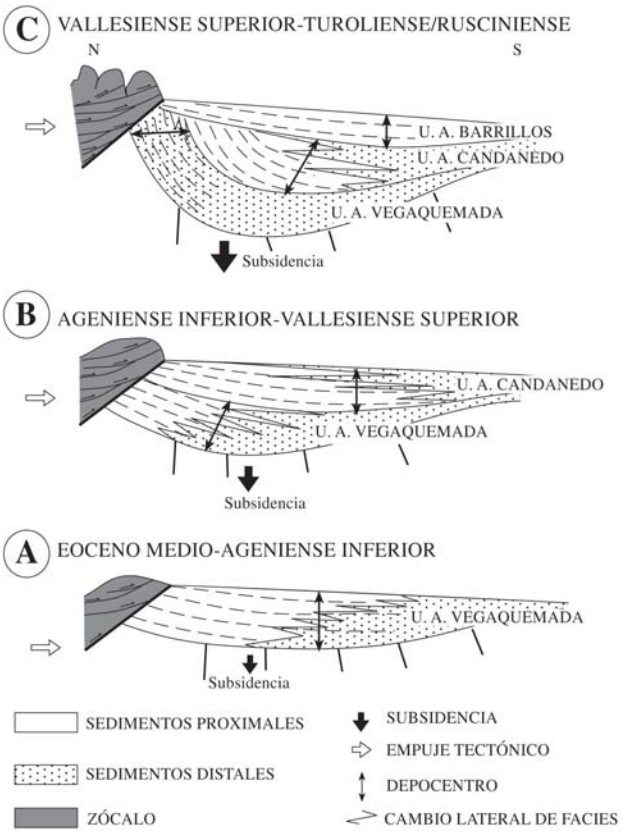

Figura 17.- Reconstrucción idealizada de la evolución sedimentaria durante el Terciario. A) Unidad aloestratigráfica Vegaquemada. B) Unidad aloestratigráfica Candanedo. C) Unidad aloestratigráfica Barrillos. Las líneas discontinuas corresponden a trazas de capas.

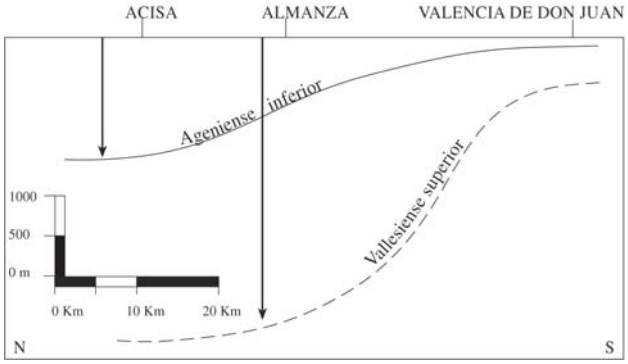

Figura 18.- Migración hacia el sur de los depocentros durante el Ageniense inferior y Vallesiense superior

El surco con una orientación este-oeste, tiene una anchura superior a los 40 km y un espesor total de sedimentos inferior a 3.500 m. El umbral periférico está situado al suroeste de área de estudio y representa una zona de elevación del basamento donde el espesor de las unidades sísmicas es reducido. Este umbral periférico coincide con la prolongación del Cabalgamiento basal del Manto de Mondoñedo hacia la Cuenca del Duero. Debió de actuar de barrera para la sedimentación durante la etapa de la unidad aloestratigráfica Vegaquemada y fue sobrepasado por la unidad aloestratigráfica Candanedo.

Agradecimientos

A la empresa REPSOL por la cesión de los perfiles sísmicos. Los autores agradecen las correcciones y sugerencias realizadas sobre el manuscrito por dos revisores anónimos y las aportadas por el editor principal doctor J. M. González Casado. Todas ellas han permitido su mejora.

Referencias

Alonso, J.L., Pulgar, J.A., García-Ramos, J.C. y Barba, P. (1996): Tertiary basins and Alpine Tectonics in the Cantabrian Mountains (NW Spain). En: *Tertiary basins of Spain. Stratigraphic record of crustal kinematics.* (P.F. Friend, y C. Dabrio, Eds.). Cambridge Univ. Press. Cambridge, 214-227 p.

Colmenero, J.R., García Ramos, J.C., Manjón, M. y Vargas, I. (1982 a): Evolución de la sedimentación terciaria en el borde N. de la Cuenca del Duero entre los valles del Torío y Pisuerga (León-Palencia). I Reunión sobre la Geología de la Cuenca del Duero. Salamanca. *Temas Geológico Mineros. Instituto Geológico Minero España,* VI: 171-181.

Colmenero, J.R., Manjón, M., García Ramos, J.C. y Vargas, I. (1982 b): Depósitos aluviales cíclicos en el Paleógeno del borde N. de la Cuenca del Duero (León-Palencia). I Reunión sobre la Geología de la Cuenca del Duero. Salamanca. *Temas Geológico Mineros. Instituto Geológico Minero España,* VI: 185-196.

Colmenero, J.R., Vargas, I., García Ramos, J.C., Manjón, M., Gutiérrez Elorza, M. y Molina, E. (1982 c): *Mapa Geológico de España 1: 50.000, hoja nº131 (Cistierna).* IGME, Madrid.

DeCelles, P.G. y Giles, K.A. (1996): Foreland basin systems. *Basin Research,* 8: 105-123.

Dix, C.H. (1955): Seismic velocities from surface measurements. *Geophysics,* 20: 68-86.

Espina, R.G. (1992): La estructura del borde occidental de la Cuenca Vasco-Cantábrica en el área de Campoo (Cantabria-Palencia, Norte de España). En: *III Congreso Geológico España, 1: 294-298.*

Espina, R.G. (1994): Extensión mesozoica y acortamiento alpino en el borde occidental de la Cuenca Vasco-Cantábrica. *Cuadernos Laboratorios Xeolóxico, Laxe,* 19: 137-150.

Espina, R.G., Alonso, J.L. y Pulgar, J.A. (1994): Discordancias sintectónicas originadas por el plegamiento «Buckling» en la banda de Ubierna (Cordillera Cantábrica). En: *II Congreso del Grupo Español del Terciario.* Comunicaciones: 105-108.

Espina, R.G., Alonso, J.L. y Pulgar, J.A. (1996): Growth and propagation of buckle folds determined from syntectonic sediments (the Ubierna Fold Belt, Cantabrian Mountains, N Spain). *Journal of Structural Geology,* 18: 431-441.

Evers, H.J. (1967): Geology of the Leonides between the Bernesga and Porma rivers. Cantabrian Mountains, NW Spain. *Leidse Geologische Mededelingen,* 41: 83-151.

Gallastegui, J. (2000): Estructura cortical de la Cordi-

llera y Margen continental Cantábricos: Perfiles ESCI-N. *Trabajos de Geología. Univ. Oviedo,* 22: 9-231.

García Ramos, J.C., Colmenero, J.R. y Manjón, M. (1982 a): Utilización de minerales pesados y de espectros litológicos como ayuda en la identificación del área madre y en la separación de los diferentes sistemas de abanicos aluviales. Terciario del borde N. de la Cuenca del Duero. I Reunión sobre la Geología de la Cuenca del Duero. Salamanca. *Temas Geológico Mineros. Instituto Geológico Minero España,* VI: 293-301.

García Ramos, J.C., Colmenero, J.R., Manjón, M. y Vargas, I. (1982 b): Modelo de sedimentación en los abanicos aluviales de clastos carbonatados del borde N de la Cuenca del Duero. I Reunión sobre la Geología de la Cuenca del Duero, Salamanca. *Temas Geológico Mineros. Instituto Geológico Minero España,* VI: 275-289.

García Ramos, J.C., Vargas, I., Manjón, M., Colmenero, J.R., Gutiérrez Elorza, M. y Molina, E. (1982 c): *Mapa Geológico de España 1: 50.000, hoja nº132 (Guardo).* IGME, Madrid.

Gómez de Llarena, J. (1934): Algunos ejemplos de cobijaduras tectónicas terciarias en Asturias, León y Palencia. *Boletín Real de la Sociedad Española de Historia Natural,* 34 (2-3): 123-127.

Heredia, N., Rodríguez Fernández, L.R. y Suárez Rodríguez, A. (1994): Tectónica. En: *Mapa Geológico 1: 200.000 de la provincia de León* (A. Suárez Rodríguez, P. Barba, N. Heredia, L. R. Rodríguez Fernández, L. P. Fernández y A. Herrero, Eds.). Diputación Provincial de León, 13-41.

Herrero, A. (2001): *Estratigrafía y Sedimentología de los depósitos terciarios del sector norte de la Cuenca del Duero en la provincia de León.* Tesis doctoral. Univ. de Salamanca, 435 p.

Herrero A., Colmenero, J.R. y Alonso Gavilán, G. (2002): Estratigrafía y sedimentología de los depósitos terciarios del sector norte de la Cuenca del Duero en la provincia de León. *Stvdia Geologica Salmanticensia,* 38: 129-181.

Herrero, A., Nozal, F., Suárez Rodríguez, A. y Heredia, N. (1994): Aportación al Neógeno de la provincia de León. En: *II Congreso del Grupo Español del Terciario.* Comunicaciones: 133-136.

I.S.G. (International Subcommission on Stratigraphic Classification of IUGS International Commission on Stratigraphy) (A. Salvador, Ed.) (1994): *International Stratigraphic Guide.* Geological Society of America, Boulder, Colorado, 214 p.

Jong, de J.D. (1971): Molasse and clastic-wedge sediments of the southern Cantabrian Mountains (NW Spain) as geomorphological and environmental indicators. *Geologie en Mijnbounw,* 50: 399-416.

Jonker, R.K. (1972): Fluvial sediments of Cretaceous age along the southern border of the Cantabrian Mountains, Spain. *Leidse Geologische Mededelingen,* 48: 275-379.

Lanaja, J. M.; Querol, R. y Navarro, A. (1987): *Contribución de la exploración petrolifera al conocimiento de la Geología de España.* IGME, 465 p., 17 pl., Madrid.

Lotze, F. (1945): Zur Gliederung der Varisziden der lberischen Meseta. *Geotektonische Forschungen,* 6: 78-92.

Mabesoone, J.M. (1959): Tertiary and Quaternary sedimentation in a part of the Duero basin, Palencia (Spain). *Leidse Geologische Mededelingen,* 24: 31-181.

Mabesoone, J.M. (1961): La sedimentación terciaria y cuaternaria de una parte de la Cuenca del Duero (provincia de Palencia). *Estudios Geológicos,* 17:101-130.

Manjón, M., Colmenero, J.R., García Ramos, J.C. y Vargas, I. (1982 a): Génesis y distribución espacial de los abanicos siliciclásticos del Terciario superior en el borde N de la Cuenca del Duero (León-Palencia). I Reunión sobre la Geología de la Cuenca del Duero, Salamanca. *Temas Geológico Mineros. Instituto Geológico Minero España,* VI: 357-370.

Manjón, M., García Ramos, J.C., Colmenero, J.R. y Vargas, I. (1982 b): Procedencia, significado y distribución de diversos sistemas de abanicos aluviales con clastos poligénicos en el Neógeno del borde N. de la Cuenca del Duero. I Reunión sobre la Geología de la Cuenca del Duero, Salamanca. *Temas Geológico Mineros. Instituto Geológico Minero España,* VI: 373-388.

Manjón, M.; Vargas, I.; Colmenero, J. R.; García Ramos, J. C.; Gutiérrez Elorza, M. y Molina, E. (1982 c): *Mapa Geológico de España 1: 50.000, hoja nº130 (Vegas del Condado).* IGME, Madrid.

N. A. S. C. (North American Commission on Stratigraphic Nomenclature) (1983): North American Stratigraphic Code, *American Association Petroleum Geology Bulletin,* 67: 841-875.

Pérez García, L. C. (1977): *Los sedimentos auríferos del NO de la Cuenca del Duero (provincia de León, España) y su prospección.* Tesis doctoral, Univ. Oviedo, 403 p.

Suárez Rodríguez, A.; Barba, P.; Heredia, N.; Rodríguez Fernández, L. R.; Fernández, L P. y Herrero, A. (1994): *Mapa Geológico 1:200.000 de la provincia de León.* ITGE-Diputación Provincial de León.

Manuscrito recibido el 13 de Noviembre de 2003
Aceptado el manuscrito revisado el 4 de Junio de 2004