

La tomografía eléctrica como técnica de apoyo para la identificación y reconocimiento de meandros abandonados: caso de estudio de La Vega Media del Segura (Murcia)

P. Pérez Cutillas^{1,3}, P. Martínez-Pagán², T. Rodríguez Estrella², C. Conesa García³, F. Navarro Hervás³

¹ Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura, C.S.I.C., Campus del Espinardo, Murcia.

² Departamento de Ingeniería Minera, Geológica y Cartográfica, Universidad Politécnica de Cartagena, Paseo Alfonso XIII, 52, 30203 Cartagena, Murcia.

³ Universidad de Murcia, Campus de la Merced, s/n, 30001 Murcia.

pedrope@um.es, p.martinez@upct.es, cconesa@um.es

RESUMEN: En este trabajo se han aplicado técnicas de tomografía de resistividad eléctrica (TRE) como apoyo a la fotointerpretación y a la selección y realización de sondeos mecánicos de rotación en la Vega Media del Segura, Sureste peninsular. Las medidas de tomografía eléctrica, realizadas en zonas donde las fotografías aéreas de distinta fecha (1928, 1956, 1981, 2013) y los datos de sondeos geotécnicos disponibles mostraban indicios de la existencia de posibles meandros abandonados, han permitido obtener las secciones 2D de la variación de la resistividad eléctrica del subsuelo, acorde con la textura y grado de humedad de las unidades litológicas a las que afectan. El análisis de las anomalías eléctricas encontradas en dichas secciones 2D han ayudado a definir la geometría de estos meandros y a establecer la posición de nuevos sondeos en sus zonas internas, consideradas las más apropiadas para localizar las gravas y arenas de antiguos lechos, y las centrales, donde existe mayor probabilidad de encontrar materia orgánica por favorecer el encharcamiento y la colonización vegetal. El método de TRE ha consistido en la instalación de numerosos electrodos (36, 54 o 72) a lo largo de perfiles previamente seleccionados a partir de fotografías aéreas antiguas y trabajo de campo. Esta separación permite obtener una buena resolución para el reconocimiento de estructuras y cuerpos sedimentarios situados en los primeros 15-20 metros. Tras haber ensayado dos sistemas de medidas diferentes, el dispositivo Dipolo-dipolo y el dispositivo Wenner-Schlumberger, se ha optado por aplicar este último, ya que ofrece resultados más acordes con la información litológica de los sondeos realizados dentro de los perfiles de tomografía eléctrica.

Palabras-clave: Geofísica aplicada, tomografía eléctrica, dinámica fluvial, meandros abandonados, Vega Media del Segura.

1. INTRODUCCIÓN

En los estudios de dinámica y evolución reciente de las llanuras aluviales resulta de gran importancia determinar con exactitud la arquitectura fluvial y las facies sedimentarias asociadas a cada unidad aluvial; dentro de este medio el trazado y la geometría de los cauces varían de forma considerable en el tiempo y en el espacio, configurando secuencias sedimentarias a menudo complejas con continuos cambios laterales y verticales. Localizar y reconocer los cauces de meandros abandonados, actualmente rellenos de sedimentos, no siempre es tarea fácil, máxime cuando están alejados del cauce principal activo o ha sido borrada parcialmente su huella en las fotografías aéreas. En tales casos, una solución metodológica comúnmente utilizada en las últimas décadas se basa en el empleo de técnicas geofísicas combinadas con datos estratigráficos de sondeos mecánicos a partir de los cuales se reconstruye la geometría de paleocauces y de sus llanos de inundación.

Los métodos geofísicos basados en la medida del valor de la resistividad eléctrica del subsuelo, conocidos como técnicas o métodos geoelectrónicos de corriente continua, son las técnicas más antiguas de exploración del subsuelo (Burger, 1992). Estas técnicas aparecieron a principios del siglo XX (Reynolds, 2011). A partir de los años 70 se vio un incremento importante de las campañas de investigación geoelectrónicas, debido fundamentalmente al importante desarrollo de las capacidades y potencia de los ordenadores y a una mejora significativa en los algoritmos matemáticos para el procesado de datos eléctricos

(Loke et al., 2013).

La importancia del parámetro de la resistividad eléctrica radica en que su grado de variabilidad está ligado a cambios en el subsuelo debidos a los diferentes tipos de litologías presentes, diferencias en la porosidad, contenido de humedad, cambio de temperatura, etc. Así, la resistividad de las rocas o de los suelos va a depender, además de su naturaleza y composición, de factores como la porosidad, la disposición geométrica de los poros, la proporción de poros rellenos de agua frente a huecos secos y la resistividad del agua de relleno (Aracil-Ávila et al., 2003). Como consecuencia, la determinación de los diferentes valores de resistividad eléctrica del subsuelo permitirá, por atribución, identificar unidades litológicas con distinta textura o grado de alteración, aspectos estructurales (fallas) y geomorfológicos (cuevas y rellenos), etc. De esta forma, las técnicas geoelectricas se han convertido hoy día en una herramienta clave para la interpretación de estructuras geológicas y la obtención de sus propiedades (Aizawa, 2014).

Desde el primer empleo comercial del método de resistividad eléctrica, a principios de los años 20 (Burger, 1992), hasta finales de los años 80, el método analizaba el subsuelo en una sola dimensión (perfiles 1-D), haciendo esto que el método fuera insuficiente para investigar zonas con una geología más compleja. Sin embargo los extraordinarios avances surgidos en los últimos 25 años han revolucionado este método favoreciendo que campañas de medidas 2-D, 3-D, o incluso 4-D, sean realizadas actualmente de forma rutinaria y extensiva (Loke et al., 2013; Styles, 2012).

Como resultado de ello, la aplicación de estas técnicas geoelectricas a la resolución de problemas ligados a la ingeniería, minería, hidrogeología, agricultura, arqueología, medioambiente, etc., es actualmente innumerable. Pueden citarse, por ejemplo, diversas aplicaciones destacables en ingeniería (Cardarelli et al., 2007; Santarato et al., 2011; Danielsen and Dahlin, 2009; Martínez-Pagán et al., 2013); en medioambiente destacan los trabajos de Atekwana and Atekwana (2010), Sauck (2000), Chambers et al. (2010), Martínez-Pagán et al. (2009a, b), Rosales et al. (2014); en hidrogeología los estudios llevados a cabo por Martínez-Pagán et al. (2010), Griffiths and Barker (1993), Beauvais et al. (2004), Auken et al. (2006), entre otros. Últimamente, el uso de tomografías de resistividad eléctrica (TRE) ha aumentado considerablemente, hasta el punto de ser aplicadas en ámbitos geomorfológicos muy concretos (endokarst, morfología de paleocauces, etc.). En particular, Martínez-López et al. (2013) han analizado la respuesta geoelectrica, a través de los métodos Wenner-Schlumberger, Wenner and dipole-dipole, producida por tres cavidades en diferentes sustratos geológicos de granito, filitas y areniscas, que previamente fueron caracterizadas por métodos directos. De Smedt et al. (2011), por su parte, utilizaron datos TRE para validar los resultados obtenidos con un sensor de inducción electromagnética móvil en su intento de reconstruir la morfología de paleocauces.

En el presente estudio se analizará la validez y eficiencia de esta técnica para identificar y reconocer las secciones de posibles meandros abandonados en épocas recientes, así como para elegir los puntos de sondeo mecánico preferentes a la hora de extraer muestras de sedimentos y de materia orgánica.

2. ÁREA DE ESTUDIO

La Vega Media del Segura (VMS) ocupa la parte occidental del Bajo Valle del Segura, dentro del sector oriental del Sistema Bético. Esta área se sitúa sobre el contacto entre la zona interna y externa de dicho sistema montañoso (Montenat, 1977), y como consecuencia participa de los rasgos geotectónicos de ambos dominios. El borde meridional de la Vega Media (zona interna) lo componen materiales del Permotrias y Neógeno, y depósitos de ladera pleistocenos. En cambio, en el borde septentrional (zona externa) predominan las rocas sedimentarias (margas, areniscas y conglomerados) pertenecientes al Mioceno superior-Plioceno. La evolución de este amplio valle, orientado de ENE a OSO, se halla controlada por fallas activas, particularmente la de Crevillente al norte y la de Carrascoy al sur. Los frentes montañosos que flanquean el valle fueron elevados por la reactivación de ambas fallas en el Mioceno final, y retocados por una actividad tectónica que todavía persiste en la actualidad (Rodríguez Estrella et al., 1999). Desde el Plioceno varias generaciones de abanicos aluviales se han desarrollado en la base de los frentes montañosos (Goy et al., 1989), dando lugar a un extenso sistema aluvial cuyos frentes distales enlazan directamente con la llanura fluvial del Segura.

3. METODOLOGÍA

Los métodos geoelectricos se basan en llevar a cabo sobre el terreno el registro de medidas del potencial eléctrico, ΔV , entre dos electrodos, denominados electrodos de potencial, cuando se inyecta corriente eléctrica, I , entre otros dos electrodos, denominados electrodos de corriente (Figura 2). Estos cuatro electrodos formarán lo que se denomina un cuadripolo. Una vez registrados los valores del potencial eléctrico

(ΔV), anotado el valor de la corriente eléctrica inyectada en el terreno (I) y, conociendo la configuración geométrica del dispositivo de medida (K) se podrá establecer el valor de la resistividad eléctrica aparente, ρ_a , que viene dado según la siguiente expresión matemática (Everett, 2013):

$$\rho_a = \frac{\Delta V}{I} \cdot K \quad (1)$$

Este valor de la resistividad eléctrica será atribuido a un determinado punto geométrico del subsuelo cuya posición y profundidad en el perfil dependerá de la posición de dicho cuadrípulo y de la separación entre los electrodos que lo conforman. La Figura 1 muestra de forma esquemática la posición espacial que toman estos valores de resistividad eléctrica aparente según el dispositivo de medida adoptado (puntos de color rojo). Estos valores de resistividad eléctrica aparente una vez calculados con la expresión anterior proporcionarían la estructura eléctrica del subsuelo que se relacionará al tipo de geología o fluidos presentes en la zona de estudio. Por otro lado, hay que destacar que en los trabajos de Everett (2013), Reynolds (2011) y Telford et al. (1990) se aborda de forma exhaustiva los principios teóricos sobre los que se sustentan los métodos geoelectrónicos y la formulación matemática empleada.

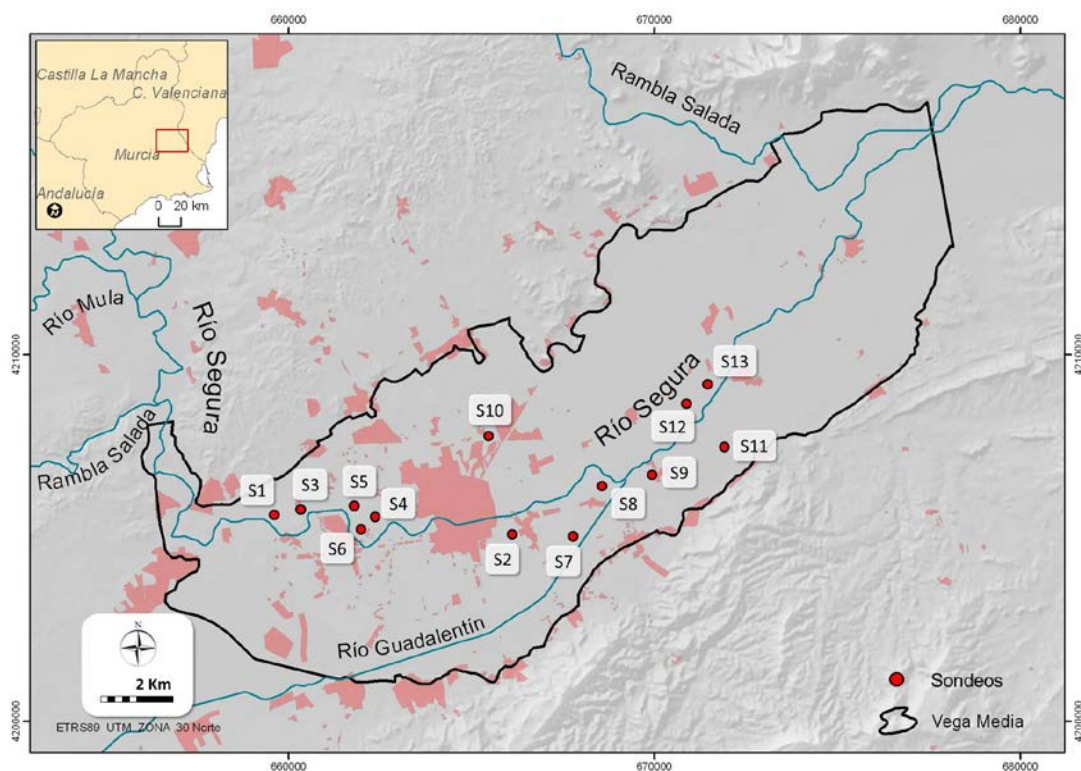


Figura 1. Área de estudio (Vega Media del Segura), con indicación de los puntos de sondeos utilizados en el análisis de perfiles TRE. Elaboración propia.

En el presente estudio, el método geoelectrónico empleado fue la técnica de tomografía eléctrica, la cual consistió en implantar numerosos electrodos a lo largo de perfiles geoelectrónicos. La situación y orientación de estos perfiles geoelectrónicos se estableció en base a la información previa obtenida de fotografías aéreas de distinta fecha (1928, 1956, 1981, 2013) y de los datos de sondeos geotécnicos disponibles. Estos perfiles de tomografía eléctrica se situaron, siempre que fue posible, perpendiculares a las estructuras que indicaban la existencia de posibles meandros abandonados. Las longitudes de los perfiles de tomografía eléctrica realizados fueron de 36, 54 o 72 electrodos, y dependiendo del perfil se usó una a separación entre los electrodos de 1.5, 2, 3 y 4 metros. Es necesario señalar que la separación entre electrodos determina el grado de resolución que se requiere (a menor separación entre electrodos, mayor resolución) y la longitud del perfil determina la profundidad de investigación (una mayor longitud del perfil, mayor profundidad de investigación alcanzada). Sin embargo, la longitud del perfil también viene condicionada al espacio disponible para poder implantar perfiles lo más rectilíneos posible, lo que en este estudio fue un factor

decisivo debido a la presencia de vallas metálicas, viviendas, muros, carreteras, etc., y que en determinadas zonas condicionó la longitud del perfil y la separación entre electrodos finalmente establecidos. La Figura 3 muestra uno de los perfiles de tomografía eléctrica llevados a cabo, donde se puede observar la unidad de registro principal o resistivímetro, el cable multiconductor, al cual van conectados todos los electrodos mediante pinzas.

El equipo de registro empleado fue un Syscal R1 Switch 72 de IRIS Instruments (Orleans, Francia), los electrodos estaban contruidos mediante varilla de acero inoxidable de 30 cm de longitud. Este tipo de electrodos ofrece un excelente contacto galvánico con el terreno reduciendo así la resistencia eléctrica de contacto electrodo-terreno. Inicialmente se probaron dos tipos diferentes de secuencias de medidas, la configuración Dipolo-dipolo y la configuración Wenner-Schlumberger (Ward, 1988; Frangos, 1990, Samouëlian et al., 2005)). Estas configuraciones se establecieron para los mismos perfiles y en las mismas condiciones con el fin de chequear la bondad de los datos obtenidos y su resolución. De los resultados obtenidos se decidió descartar la configuración dipolo-dipolo y seleccionar para los perfiles restantes la configuración Wenner-Schlumberger por sus adecuados resultados. Los datos de resistividad eléctrica aparente registrados en campo fueron posteriormente procesados con el programa Res2Dinv (Loke, 2000) para obtener las secciones eléctricas 2D finales de valores de resistividad eléctrica.

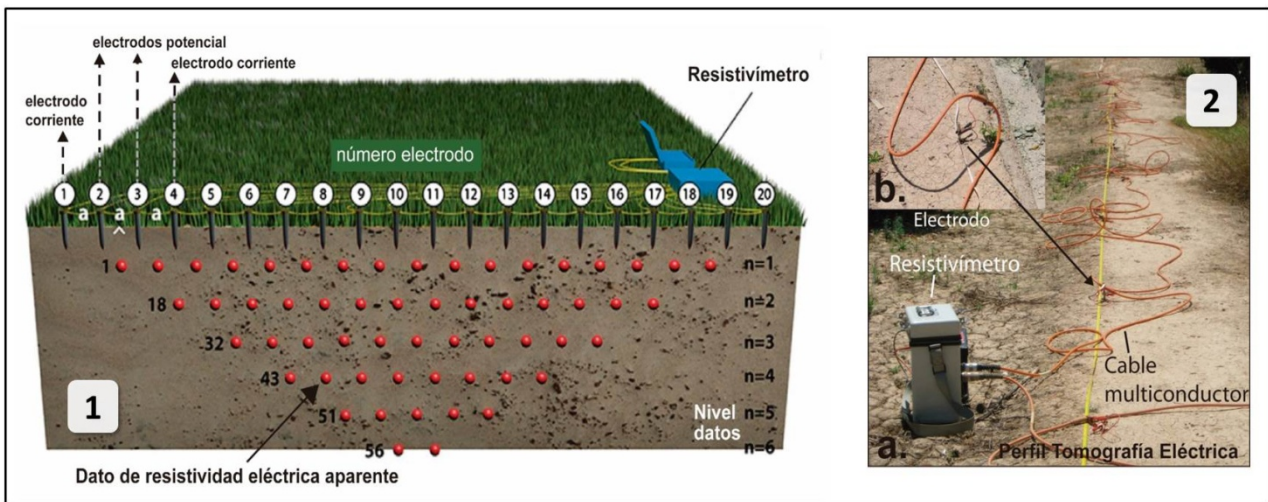


Figura 2. Diagrama esquemático que representa la posición espacial de los valores de resistividad eléctrica aparente en el subsuelo (modificado de Loke et al., 2013). 2. a) Perfil de tomografía eléctrica implantado sobre el suelo; 2. b) Detalle de un electrodo conectado mediante pinzas al cable multiconductor principal.

La obtención de las muestras ‘in situ’, que han servido de cotejo para las imágenes de resistividad, se ha llevado a cabo mediante ensayos geotécnicos a través de una sonda TP-50 D. Estos sondeos son de tipo mecánico, realizados a rotación y con recuperación continua de testigo. El proceso consiste en la perforación mediante el avance por rotación de una corona circular hueca en cuyo interior se aloja el testigo. La perforación se interrumpe periódicamente para realizar la toma de las muestras específicas, siguiendo el procedimiento de ejecución de la norma ASTM D-2113 y XP P94-202. Una vez extraído el tubo portatestigos del sondeo, se coloca en una caja preparada al efecto, disponiendo separadores entre las diferentes maniobras realizadas e identificando el sondeo, profundidad y cotas de toma de muestras (SPT, inalteradas, muestras de mano...). Una vez determinado el método de configuración del resistivímetro, se inicia el periodo de toma de datos en campo mediante la realización de un total de 13 perfiles tomográficos, con las características que se describen en la Tabla 1.

El procedimiento utilizado para la identificación de los paleocauces se ha establecido mediante dos vías, en primer lugar a través de un análisis visual de las imágenes tomográficas, observando los cambios de formas generadas por el nivel de resistividad eléctrica. Y de forma paralela, a través de la cuantificación en vertical de los valores de intensidad eléctrica expresados en la matriz de datos. En este segundo caso, el contenido de agua, asociado principalmente a la profundidad del nivel freático, interfiere de forma importante en los resultados, por lo que la comparación en el rango de estas medidas en los distintos perfiles no es adecuada. Para expresar la variabilidad de la resistividad eléctrica se ha realizado una estimación del cambio en la intensidad eléctrica registrada, asociada a la variación textural de los sedimentos en

profundidad (Rey et al., 2013), mediante el cálculo del porcentaje de cambio expresado en la siguiente formulación:

$$tc \rho_a = (N_i - N_s) / N_i * 100 \quad (2)$$

Donde $tc \rho_a$ representa la tasa de cambio porcentual de los valores de resistividad eléctrica aparente, N_i el valor nivel de resistividad existente en la cota inferior y N_s el nivel de resistividad de la cota superior a la calculada. Finalmente, se relaciona dicha tasa de variación geoelectrica con la distribución del tamaño de los sedimentos en profundidad obtenida a partir de las columnas litológicas de los sondeos mecánicos realizados en los perfiles TRE.

Tabla 1. Perfiles de tomografía eléctrica realizados para la identificación y reconocimiento de paleocauces en la llanura aluvial de la Vega Media del Segura (VMS).

<i>Perfil</i>	<i>Nombre del perfil</i>	<i>Fecha de realización</i>	<i>Nº de electrodos</i>	<i>Espaciado electrodos (m)</i>	<i>Longitud (m)</i>
1	La Raya I	11/06/2014	54	3	162
2	Los Dolores I	01/07/2014	72	3	216
3	Rincon de Beniscornia	15/07/2014	72	2	144
4	Arboleja II	24/10/2014	36	1,5	54
5	Arboleja I	24/10/2014	54	2	108
6	Arboleja III	07/11/2014	54	2	108
7	Calavera	05/02/2015	36	2	72
8	Arroniz	05/02/2015	54	2	108
9	Carril Chirlanco	05/02/2015	36	2	72
10	La Flota	27/02/2015	72	4	288
11	Los Ramos	27/02/2015	36	2	72
12	La Barca	11/03/2015	54	2	108
13	Santa Cruz	11/03/2015	72	3	216

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La variabilidad en las medidas de los perfiles TRE, así como en el número y distancia de los electrodos utilizados, ha dependido, en primera instancia, de la profundidad a la que suele aparecer el lecho de los paleocauces asociados a los meandros abandonados. A priori, la profundidad de sondeo elegida (20 m) ha condicionado la longitud del perfil, de modo que la obtención de datos válidos a dicha profundidad ha hecho necesario definir perfiles de longitud generalmente superior a 100 m con distancias de separación entre electrodos de más de 2 m. Estos requisitos generan una merma en la resolución espacial de las tomografías, que resta precisión a los valores estimados de resistividad eléctrica y, por tanto, a la correlación de dichos valores con los datos de las columnas litológicas. Datos de mayor precisión se obtienen cuando dicha técnica es aplicada a escala de detalle, abarcando formaciones de reducido espesor menos profundas. En este sentido, Rossi et al. (2013) han demostrado su efectividad para la detección de cambios texturales en los primeros metros de profundidad del subsuelo, utilizando un espaciado entre electrodos de 25 cm.

Con el fin de seleccionar el método más apropiado en el presente estudio para la generación de las secciones 2D de resistividad eléctrica, se han comparado y evaluado los sistemas Wenner-Schlumberger y dipolo-dipolo (Figura 3). Los resultados de este ensayo, al igual que se exponen en otros trabajos (Dahlin and Zhou, 2004; Rey et al., 2013), atribuyen al método híbrido de Wenner y Schlumberger una mayor sensibilidad para representar las estructuras con variación lateral y vertical de facies litológicas que los obtenidos mediante la configuración ‘dipolo-dipolo’. En el caso de estudio, dicho método parece definir mejor la geometría de los cuerpos sedimentarios que rellenan los cauces de los meandros abandonados.

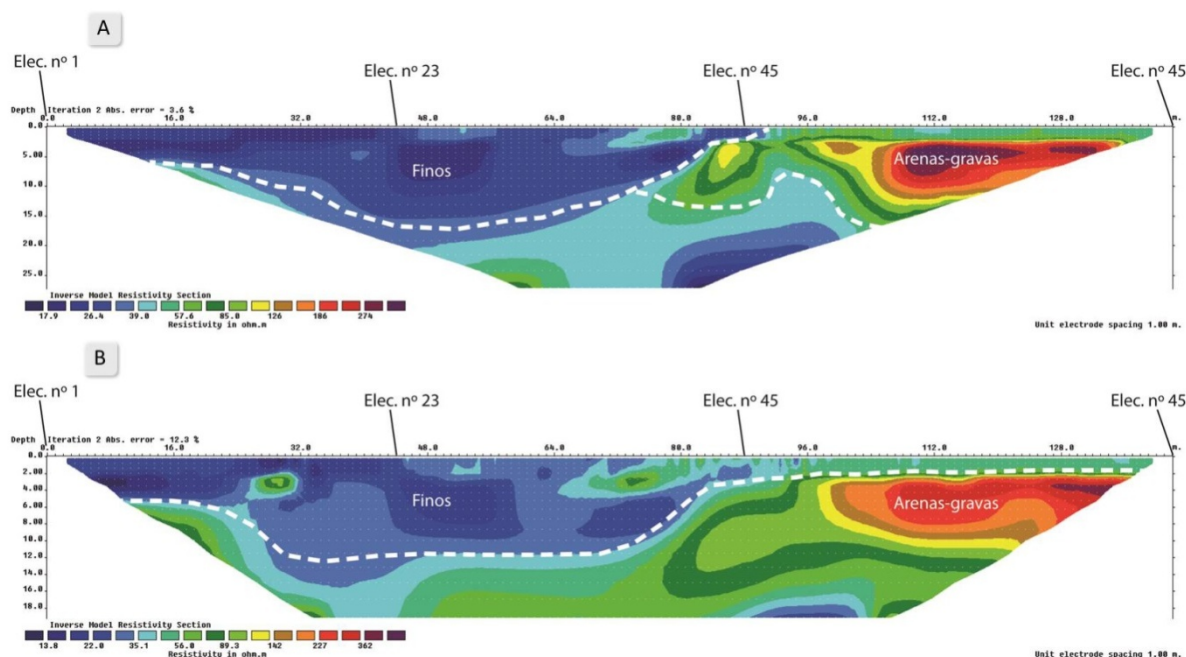


Figura 3. Perfil de tomografía de resistividad eléctrica P1 (La Raya I), obtenido con la configuración Wenner-Schlumberger (A) y la configuración Dipolo-Dipolo (B).

Utilizando el sistema de Wenner-Schlumberger con un espaciamento de 2 a 4 m, para distancias de 70 a 200 m y profundidades de 15 a 25 m, se ha detectado una distribución de resistividad en profundidad más acorde con posibles cuerpos sedimentarios propios del relleno de paleocauces en la llanura aluvial del Bajo Segura (Figura 3A). El sistema dipolo-dipolo muestra la misma estructura general con valores mayores de resistividad, pero con una configuración geométrica menos precisa y disconforme con la morfología de este tipo de cauces (Figura 3B). En el ejemplo de esta figura, correspondiente al perfil de La Raya I (al oeste de Murcia), se observan dos cauces completamente rellenos, que muestran tamaños y características texturales diferentes: uno más antiguo, de 40 m de anchura y 20 m de profundidad, constituido por materiales gruesos (arenas y gravas) ($\rho_a = 100$ a 300 ohm-m) (Tabla 2: P1 S1), y otro, de mayor anchura y similar profundidad, relleno por sedimentos finos (limos y arcillas) ($\rho_a < 100$ ohm-m), aportados por inundaciones más recientes. Entre ellos, se intercala un umbral secundario de anomalía eléctrica positiva, que bien puede corresponder a un dique natural formado por desbordamiento del cauce más antiguo. La configuración Wenner-Schlumberger también fue la opción elegida por De Smedt et al. (2011) para reconstruir la morfología de paleocauces en Moervaart (Bélgica). Al igual que aquí, estos autores establecieron el espaciamento de los electrodos a partir de datos de sondeo previos en rellenos de cauce próximos, dando por resultado secciones TRE de 63 m e intervalos de 1 m de separación entre electrodos.

Los valores porcentuales obtenidos en el cálculo de la tasa de cambio en la resistividad eléctrica (Tabla 2) muestran en algunos casos una relación directa con las variaciones texturales observadas en las columnas de los sondeos. Se observa, sobre todo, que cuando el nivel freático está más bajo (a más de 5 m de profundidad), la correspondencia entre $tc \square_a$ y los cambios de textura de los sedimentos es algo más significativa. En cambio, tal relación aparente desaparece por completo en los casos donde el nivel freático está muy próximo a la superficie (a menos de 2 m).

El proceso iterativo aplicado para obtener un modelo de resistividades reales no ha logrado mejorar mucho los contrastes apreciados en la sección de resistividades aparentes 2D medida en el campo. Aun así, en todos los rellenos de meandros analizados se observa una clara diferenciación entre materiales conductores (limos y arcillas), representados en el perfil TRE con colores azulados, sedimentos de resistividad moderada, con colores amarillos y naranjas, correspondientes a depósitos arenosos, y materiales más resistivos, con colores rojos y morados, que reflejan la presencia de gravas. Los depósitos de grava y arena gruesa suelen constituir el lecho fluvial de los meandros recientemente abandonados, por lo que cabría esperar cierta relación entre la profundidad en que aparecen y la profundidad de las capas más resistivas. Sin embargo, tal circunstancia no suele darse, habida cuenta la multitud de factores que intervienen en la

estimación. Los valores de baja resistividad se hallan conjuntamente condicionados por el predominio de materiales finos y por un alto contenido en agua. Las gravas suelen contener también agua, dentro del nivel freático, lo que reduce de forma considerable su repuesta de resistividad eléctrica en estado seco. Por lo general, tales respuestas geoelectricas han permitido diferenciar, dentro de cada paleocauce, una delgada unidad superior de relleno antropogénico, una unidad inferior más extensa, que conforma prácticamente la totalidad del relleno de sedimentos finos y una base a menudo cóncava que marca el límite de dicho relleno y denota la presencia de material de fondo (arenas y gravas) (Figura 4).

Tabla 2. Porcentajes de variación de los valores de resistividad eléctrica aparente en relación con la textura de los materiales y del nivel freático. Prof. (m) = profundidad expresada en m; % tc □_a = porcentaje de variación de los valores de resistividad eléctrica aparente; tex = textura de los materiales: f = finos, g = gruesos; * nivel freático.

	P1	S1	P2	S2	P3	S3	P4	S4	P5	S5	P6	S6	P7	S7
Prof. (m)	% tc □ _a	tex	% tc □ _a	tex	% tc □ _a	tex	% tc □ _a	tex	% tc □ _a	tex	% tc □ _a	tex	% tc □ _a	tex
0-2	-	f	-	f	-	f	-	f	-	a	-	a	-	a
2-4	70	g	-70	f	16,7	f	-153,3	f	-400	f	-400	f	-125	f*
4-6	9,5	f	-233,3	f*	14,3	f	-66,7	f*	30	g	41,7	f*	20	g
6-8	-5	g*	82,4	g	12,5	g	40	f	28,6	g*	14,3	g	44,4	g
8-10	-11,1	g	43,3	f	11,1	g	25	g	22,2	g	-	-	40	f
10-12	-38,5	g	-36,4	f	10	g*	20	g	18,2	g	-	-	21,1	f
12-14	-44,4	g	-10	f	9,1	g	-	-	8,3	g	-	-	13,6	f
14-16	-5,9	g	0	f	-	-	-	-	29,4	g	-	-	-	-

Continuación Tabla 2:

	P8	S8	P9	S9	P10	S10	P11	S11	P12	S12	P13	S13
Prof. (m)	% tc □ _a	tex	% tc □ _a	tex	% tc □ _a	tex	% tc □ _a	tex	% tc □ _a	tex	% tc □ _a	tex
0-2	-	f*	-	f	-	f	-	f*	-	f*	-	a
2-4	25,7	f	-100	f*	11,1	f*	30,8	f	-166,7	f	0	f*
4-6	-600	f	75	f	10	g	-117	g	50	f	0	g
6-8	-150	f	38,5	f	17	f	-100	f	-20	f	-40	g
8-10	33,3	f	7,1	g	14	f	-50	f	0	g	0	g
10-12	50	g	-	-	13	g	0	f	-25	g	-25	g
12-14	25	g	-	-	16	g	33	f	0	f	20	f
14-16	20	g	-	-	21	g	40	f	20	f	0	f

5. CONCLUSIONES

Las secciones 2D de perfiles de TRE, obtenidas con la configuración Wenner-Schlumberger, un espaciamiento de 2 a 4 m entre electrodos y área representada de 70 a 200 m de longitud por 20 a 25 m de profundidad máxima, no aportan una información correcta de la estratigrafía de los rellenos sedimentarios en los cauces de los meandros abandonados de la VMS. Sin embargo, analizadas en combinación con los datos de las columnas litológicas de sondeos realizados dentro de los citados perfiles TRE, sí muestran su utilidad para determinar la profundidad aproximada de dichos cauces y su geometría. Las anomalías eléctricas observables han permitido detectar los cambios laterales y verticales de facies litológicas de estos paleocauces dentro de la llanura aluvial de la VMS. Así, con ayuda de esta técnica puede planificarse la posición de nuevos sondeos mecánicos, eligiendo según los objetivos, la zona interna convexa del meandro abandonado, si se pretende alcanzar los depósitos de gravas y arenas del lecho, o la central, si se intenta extraer muestras con cierto contenido de materia orgánica. Por tanto, la técnica TRE se muestra especialmente eficiente para seleccionar las posibles ubicaciones de instrumentos convencionales de registro sedimentario e hidrogeológico (i.e. sondeos o piezómetros), dado que marca con mayor exactitud el lugar y

profundidad a la que se encuentra la anomalía. Como ocurre en todos los métodos de resistividad eléctrica, la presencia de materiales muy resistivos en superficie y a profundidad imposibilita un buen funcionamiento del método, siendo necesaria la utilización de otras técnicas, en este caso las electromagnéticas, en los que no se precisa un contacto físico con el suelo.

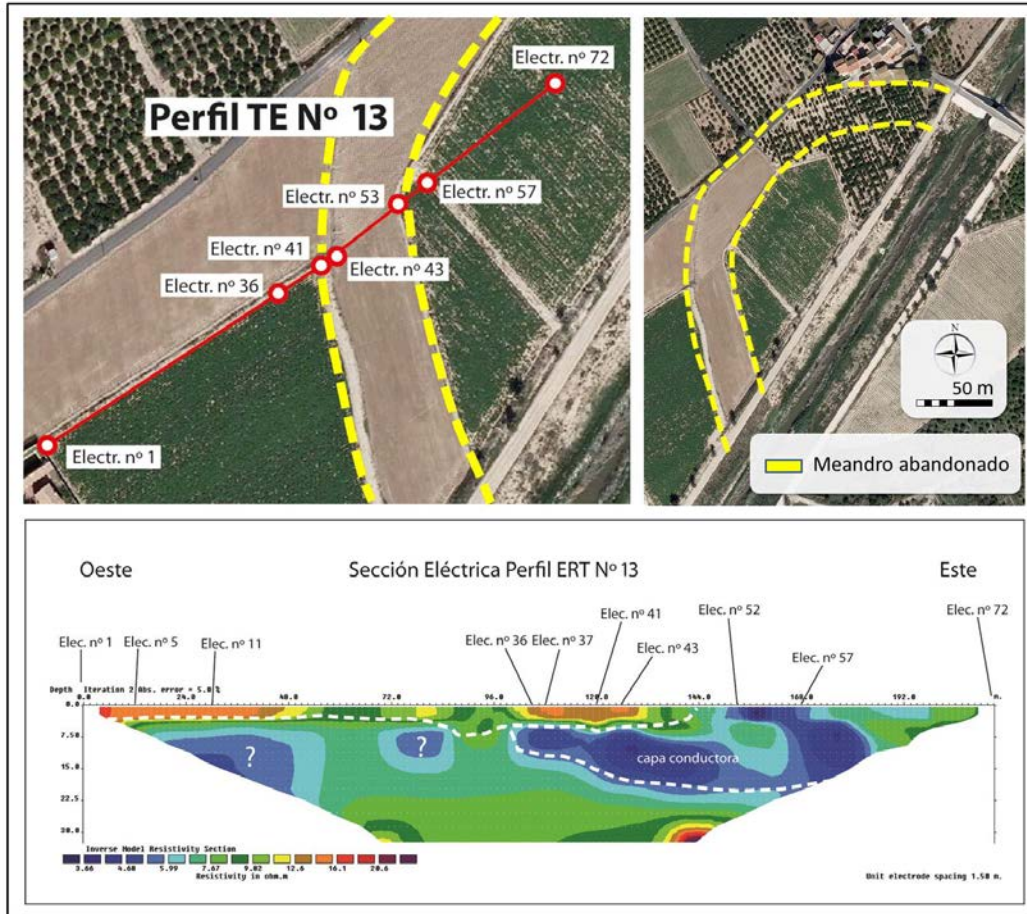


Figura 4. Parte superior: trazas del parcelario que sugieren la existencia de un meandro abandonado en el paraje de Santa Cruz (VMS) y localización del perfil TE Nº 13. Parte inferior: Sección de resistividades aparentes 2D del perfil Nº 13.

AGRADECIMIENTOS

El presente artículo ha sido realizado en el marco del proyecto DYCAM-SEG, “Dinámica y cambios morfológicos recientes del Bajo Segura (Vega Media)”, financiado por la Fundación Séneca, Agencia de Ciencia y Tecnología de la Región de Murcia, Referencia 15224/PI/10.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Aizawa, T. (2014): Application Manual of Geophysical Methods to Engineering and Environmental Problems. European Association of Geoscientists and Engineers (EAGE), Society of Exploration Geophysicists of Japan (Eds.), The Netherlands.
- Aracil-Ávila, E., MaruriBrouard, U., Vallés Iriso, J., Martínez-Pagán, P., Porres Benito, J.A. (2003): “Evaluación de problemas medioambientales mediante tomografía eléctrica”. Ingeopres, 122, 34-39.
- Atekwana, E.A., Atekwana, E.A. (2010): “Geophysical signatures of microbial activity at hydrocarbon contaminated sites: a review”. Surveys in Geophysics, 31, 247-283.
- Auken, E., Pellerin, L., Christensen, N.B., Sorensen, K.I. (2006): “A survey of current trends in near-surface electrical and electromagnetic methods”. Geophysics, 71 (5), 249-260.

- Beauvais, A., Ritz, M., Parisot, J.C., Bantsimba, C., Dukhan, M. (2004): "Combined ERT and GPR methods for investigating two stepped lateritic weathering systems". *Geoderma*, 119 (1-2), 121-132.
- Burger, H.R. (1992): *Exploration geophysics of the shallow subsurface*. Prentice Hall PTR, New Jersey.
- Cardarelli, E., Cercato, M., Di Filippo, G. (2007): "Assessing foundation stability and soil-structure interaction through integrated geophysical techniques: a case history in Rome (Italy)". *Near Surface Geophysics*, 5(2), 141-147.
- Chambers, J.E., Wilkinson, P.B., Wealthall, G.P., Loke, M.H., Dearden, R., Wilson, R., Allen, D., Ogilvy, R.D. (2010): "Hydrogeophysical imaging of deposit heterogeneity and groundwater chemistry changes during DNAPL source zone bioremediation". *Journal of Contaminant Hydrology*, 118 (1-2), 43-61.
- Dahlin, T., Zhou, B., (2004): A numerical comparison of 2D resistivity imaging with 10 electrode arrays. *Geophysical Prospecting*, 52, 379-398.
- Danielsen, B.E., Dahlin, T. (2009): "Comparison of geoelectrical imaging and tunnel documentation at the Hallandsas Tunnel, Sweden". *Engineering Geology*, 107 (3-4), 118-129.
- De Smedt, P., Van Meirvenne, M., Meerschman, E., Saey, T., Bats, M., Court-Picon, M., De Reu, J., Zwervaegher, A., Antrop, M., Bourgeois, J., De Maeyer, P., Finke, P.A., Verniers, J., Crombé, P. (2011): Reconstructing palaeo-channel morphology with a mobile multicoil electromagnetic induction sensor. *Geomorphology*, 130: 136-141.
- Díaz Anaya, E.P. (2010): Implementación del código ZONDRES2D para la modelación directa e inversa de datos de tomografía de resistividad eléctrica 2D. Tesis doctoral, Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería, México, pp. 14-22.
- Everett, M.E. (2013): *Near-Surface Applied Geophysics*. Cambridge University Press, New York.
- Frangos, W. (1990): "Interpretation of data from electrical resistivity measurements". *In Proceedings of the Symposium on the Application of Geophysics to Engineering and Environmental Problems*, 29-58.
- Goy, J.L., Zazo, C., Somoza, L. and Dabrio, C.J. 1989. The neotectonic behaviour of the Lower Segura River Basin during the Quaternary Palaeogeographical meaning of the "Conglomerates of the Segura". *Bulletin of the INQUA Neotectonics Commission* 12, 14-17.
- Griffiths, D.H., Barker, R.D. (1993): "Two-dimensional resistivity imaging and modelling in areas of complex geology". *Journal of Applied Geophysics*, 29 (3-4), 211-226.
- Loke, M.H. (2000): "Electrical imaging surveys for environmental and engineering studies: A practical guide to 2-D and 3-D surveys". 61 p.
- Loke, M.H., Chambers, J.E., Rucker, D.F., Kuras, O., Wilkinson, P.B. (2013): "Recent developments in the direct-current geoelectrical imaging methods". *Journal of Applied Geophysics*, 95, 135-156.
- Martínez-López, J., Rey, J., Dueñas, J., Hidalgo, C., Benavente, J. (2013): Electrical tomography applied to the detection of subsurface cavities. *Journal of Cave and Karst Studies*, 75(1), 28-37. DOI: 10.4311/2011ES0242
- Martínez-Pagán, P., Faz-Cano, A., Aracil-Ávila, E., Arocena, J. (2009a): "Electrical resistivity imaging revealed the spatial properties of mine tailing ponds in the Sierra Minera of Southeast Spain". *Journal of Environmental and Engineering Geophysics*, 14, 63-76.
- Martínez-Pagán, P., Faz-Cano, A., Aracil-Ávila, E. (2009b): "The use of 2D electrical tomography to assess pollution in slurry ponds of the Murcia Region, SE Spain". *Near Surface Geophysics*, 7, 49-61.
- Martínez-Pagán, P., Jardani, A., Revil, A., Hass, A. (2010): "Self-potential monitoring of a salt plume". *Geophysics*, 75, 17-25.
- Martínez-Pagán, P., Gómez-Ortiz, D., Martín-Crespo, T., Ignacio-Manteca, J.I., Rosique, M. (2013): "The electrical resistivity tomography method in the detection of shallow mining cavities. A case study on the Victoria Cave, Cartagena (SE Spain)". *Engineering Geology*, 156, 1-10.
- Montenat, C. (1977): "Les bassins néogènes et quaternaires du Levant d' Alicante a Murcie (Cordilleres bétiques orientales, Espagne). Stratigraphie, paléontologie et évolution dynamique". *Docum. Lab. Géol. Univ. Lyon*, 63: 1-345.
- Rey, J., Martínez, J., Hidalgo, M.C. (2013). Investigating fluvial features with electrical resistivity imaging and ground-penetrating radar: The Guadalquivir River terrace (Jaen, Southern Spain). *Sedimentary Geology*, 295, 27-37.

- Reynolds, J.M. (2011): An introduction to applied and environmental geophysics. 2nd edition, John Wiley and Sons, England.
- Rodríguez-Estrella, T., Hernández-Henrile, J.L. and Ibarгүйen, J. 1999. Neotectónica y tectónica activa en la depresión plio-cuaternaria del Segura (Murcia-Orihuela). 1er. Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica: Murcia; vol. I, pp 53-63.
- Rosales, R.M., Martínez-Pagán, P., Faz-Cano, A., Bech, J. (2014): "Study of subsoil in former petrol stations in SE of Spain: Physicochemical characterization and hydrocarbon contamination assessment". *Journal of Geochemical Exploration*, 147, 306-320.
- Rossi, R., Amato, M., Pollice, A., Bitella, G., Gomes, J.J., Bochicchio, R., Baronti, S. (2013): Electrical resistivity tomography to detect the effects of tillage in a soil with a variable rock fragment content. *European Journal of Soil Science*, 64, 239–248.
- Santarato, G., Ranieri, G., Occhi, M., Morelli, G., Fishanger, F., Gualerzi, D. (2011): "Three-dimensional electrical resistivity tomography to control the injection of expanding resins for the treatment and stabilization of foundation soils". *Engineering Geology*, 119 (1-2), 18-30.
- Sauk, W.A. (2000): "A model for the resistivity structure of LNAPL plumes and their environs in sandy sediments". *Journal of Applied Geophysics*, 44 (2-3), 151-165.
- Styles, P. (2012): *Environmental Geophysics: Everything you ever wanted to know but were afraid to ask!*. European Association of Geoscientists and Engineers (EAGE), Education Tour Series, The Netherlands.
- Telford, W.M., Geldart, L.P., Sheriff, R.E. (1990): *Applied Geophysics*. 2nd edition, Cambridge University Press, United Kingdom.
- Ward, S.H. (1988): "The resistivity and induced polarization methods". In *Proceedings of the Symposium on the Application of Geophysics to Engineering and Environmental Problems*, 109-250.