INFORME PRELIMINAR SOBRE LA PROSPECCION GEOFISICA DE LAS RUINAS DE COPAN (HONDURAS)

Bajo la dirección de Louis Pastor

Noviembre 2000



Zona de las prospecciones geofísicas al oeste del Bosque

Indice

2
3
3
5
5
6
6
8
9
9
10
10
10
11
11
12
12
13

<u>Figuras</u>

Figura 1 : Plan de situación de las diferentes prospecciones geofísicas.	4				
Figura 2 : Zona de El Bosque : cartografia de conductividad aparente Slingram EM31.	5				
Figura 3 : Zona de El Bosque : cartografia del gradiente magnético vertical.	6				
Figura 4 : Zona de El Bosque : cartografia de la conductividad aparente Slingram EM38.					
Figura 5 : Superposición de los mapas de gradiente vertical y de conductividad					
aparente con el EM38.	7				
Figura 6 : Cartografia de conductividad aparente Slingram EM31 sobre la plataforma noroeste.	8				
Figura 7 : Cartografia del gradiente magnético vertical sobre la plataforma noroeste.	8				
Figura 8 : Sondeos eléctricos sobre el perfil B.	9				
Figura 9 : Ejemplo de sondeo TDEM (punto E7).	10				

Participantes de la prospeción

Christian CAMERLYNK	Universidad de Paris 6	geofísico
Isabelle GUYOT	Universidad de La Rochelle	geofísica
Nicolas FLORSCH	Universidad de La Rochelle	geofísico
Roger GUÉRIN	Universidad de Paris 6	geofísico
Louis PASTOR	Universidad de Paris 7	geofísico
Christophe PETIT	Universidad de Dijon	geólogo-geomorfólogo
Ricardo TASCÓN	Universidad de Reims	físico
Richard VANHOESERLANDE	Universidad de Paris 7	electrónico
René VIEL	Proyecto Profuturo Copán	arqueólogo

I. Introducción.

En el marco de un estudio tanto de Geofísica aplicada como de Geomorfología en el sitio maya de Copán (Honduras), se realizaron diferentes prospecciones.. Nuestras campañas de medidas responden a una petición del arqueólogo René Viel y se iniciaron en una campaña previa en 1998. Tenían igualmente como objetivo el situar las estructuras conocidas y nuestros posibles hallazgos en el contexto geomorfológico y así aportar elementos sobre la utilización y la transformación del paisaje del valle de Copán en los períodos pre-maya y maya clásico.

Bajo estas perspectivas nos fijamos tres objetivos mayores, siendo el primero era el de profundizar las prospecciones, en el prologamiento de la misión de 1998. Este objetivo se cumplió exitosamente al ponerse en evidencia de dos estructuras enterradas y de un paleocanal, en un terreno sin ningún índice superficial. Otro de los objetivos era el de conocer el paisaje del valle de Copán en la época precolombina. En efecto, hay hipótesis que suponen la existencia de un lago, de variaciones de la posición de los meandros, de fenómenos torrenciales tales como el reciente huracán Mitch, lo cual hubría provocado una sedimentación muy rápida. Un último objetivo era el de comprender la geo-arqueología de las terrazas aluviales, así como estudiar la presencia de canalizaciones en las proximidades del grupo principal. Dichos canales, naturales o antrópicos (o aún estructuras naturales arregladas por los copanecos como desagües de crecidas), deben permitir la comprensión de la historia de las obras construídas.

Un estudio previo realizado en 1998 (Pastor *et al.*, 1998) mostró la factibilidad de las técnicas geofísicas y ha servido para orientar la escogencia de los métodos de prospección a utilizar en este caso.

II. Descripción de la zona de estudio.

En el valle del río Copán, la cuenca de Copán Ruinas se extiende sobre una superficie de aproximadamente 6 km de largo por 1,5 km de ancho yendo de oeste a este. La altura media es de alrededor de 600 m sobre el nivel del mar. El paisaje está constituído por numerosas colinas, separadas entre sí por quebradas más o menos importantes, como por ejemplo, la quebrada Sesesmil. Estas quebradas hienden las terrazas aluviales reconocidas por diferentes estudios geomorfológicos basados, fundamentalmente, en las fotografías aéreas de 1977. Según estos estudios hay entre tres y cinco terrazas reconocidas. La más reciente (T0) se encuentra, actualmente, al borde del río, mientras que las más antiguas se encuentran situadas a más de 50 m por encima del nivel actual del río, como lo muestra un corte en la carretera en construcción al oeste del pueblo de Copán-Ruinas.

Las mediciones geofísicas fueron realizadas en très sitios diferentes. Continuando los estudios previos de 1998, se realizaron diferentes cartografías al oeste de la estructura principal de las ruinas mayas, en los predios cercanos a *El Bosque*, a fin de determinar la presencia de canales. Se cartografíó, además, la plataforma noreste de la estructura principal, considerada por René Viel como la más antigua del sitio. Estas prospecciones deberán servir a la localización de las excavaciones futuras con la finalidad de que éstas sean realizadas en la zona limítrofe de la estructura monumental. En fin, múltiples sondeos tanto eléctricos como TDEM se implementaron a lo largo del valle del río Copán con la finalidad de confirmar la eventual estructura transversal de las terrazas, de definir la geometría de dichas terrazas así como determinar la profundidad de un lago que hubiese podido anegar la zona. Estos sondeos distan entre ellos entre 50 m y 100 m, a lo largo de los perfiles, y de alrededor de 1 km entre uno y otro perfil.



Fig 1 : Plan de situación de las diferentes prospecciones geofísicas.

III. Prospección en la proximidad de la zona de El Bosque.

III.1. Prospección electromagnética Slingram con el EM31.

En esta zona se realizó una cartografía electromagnética Slingram con un aparato EM31 en configuración DMV, con cuadrícula de 10 m de lado, con el fin de cubrir un máximo de superficie,.



Fig. 2 : Zona de El Bosque : cartografia de conductividad aparente Slingram EM31.

El mapa presenta valores de resistividad relativamente bajos (entre 7 y 25 Ω m), lo cual indica que los terrenos superficiales tienen un porosidad importante y/o una proporción importante de arcilla. Un canal muy conductor, de orientación norte-sur a lo largo de la abscisa 70 m, ocupa un ancho de más o menos 25 m, con una fuerte pendiente al oeste y un gradiente más suave al este. Este canal parece surgir del nordeste y dirigirse hacia el río, al sudeste, dándole la vuelta en parte a una estructura maciza algo resistente.

III.2. Prospección magnética.

Se realizó en una parte de esta zona una cartografía del gradiente vertical del campo magnético terrestre con un aparato *Geometrics* G858, con una malla de un punto cada 20 cm, aproximadamente, siguiendo perfiles equidistantes de 1 m.



Fig. 3 : Zona de El Bosque : cartografia del gradiente magnético vertical.

El mapa presenta dos anomalías mayores : lo cual corresponde a estructuras enterradas y de las cuales ningún índice superficial permite prever su existencia.

III.3. Prospección electromagnética Slingram con el EM38.

Se realizó una cartografía Slingram de la conductividad electrica aparente con ayuda de un aparato Slingram EM38 sobre el sition de las dos anomalías detectadas en el mapa del gradiente vertical. Esta cartografía se efectuó utilizando una malla fina cuadrada de 1 m de lado.



Fig. 4 : Zona de El Bosque : cartografia de la conductividad aparente Slingram EM38.

Las dos anomalias están bien corfirmadas por estas prospecciones, tal como lo muestra, por ejemplo, la superposición de los mapas de la anomalia la mas al Sur.



Fig. 5 : Superposición de los mapas de gradiente vertical y de conductividad aparente con el EM38.

IV. Prospección sobre la plataforma noroeste.

La zona de estudio se encuentra al oeste de la zona sondeada en 1998, sobre una plataforma relativamente plana y a una altura superior. Se realizó una cartografía electromagnética Slingram con un aparato EM31 en configuración DMV, utilizando una malla cuadrada de 2 m de lado.



Fig 6 : Cartografia de conductividad aparente Slingram EM31 sobre la plataforma noroeste.

El mapa muestra una anomalía conductora al sur de la plataforma y cuya forma es aproximadamente rectangular. Esta anomalia siera relacionada a los coaluviones de las piedras del edificio ubicado muy cerca del norte de la plataforma.

Un mapa magnético sobre la misma zona muestra la muy alta heterogeneidad ligada con un importante empedrado (de piedras magnéticas). No se puede ver ninguna estructura ó anomalias organizadas.



Fig 7 : Cartografia del gradiente magnético vertical sobre la plataforma noroeste.

V. Prospección en el conjunto de la valle.

V.1. Sondeos eléctricos.

Los sondeos eléctricos presentan numerosas variaciones. Algunos se presentan en forma de fondo de canoa, es decir, un terreno conductor entre dos terrenos resistentes (A1, B1, E1, E2, E3, E4, F1, F2, F6 y F7). Otros muestran una forma de dos fondos de canoa sucesivos (E5, E6, E7, E9, F3, F4 y F5). Et todos los casos las capas encontradas son relativamente conductoras. Se puede seguir un horizonte de conductividad de 5 Ω .m en varios sondeos. En el informe final se presentaran los cortes geológicos.



Fig. 8 : Sondeos eléctricos sobre el perfil B.

V.2. Sondeos TDEM.

Los diferentes sondeos TDEM permiten obtener con precisión el valor de la resistividad de los terrenos conductores así como la posición del techo de dichas capas. Así, se encuentra en el ejemplo expuesto a continuación, sondeo en el punto E7, que el valor de la resistividad de la capa conductora esigual a 4,9 Ω m, lo cual ayudó a ala interpretación de los sondeos eléctricos. El resto de las informaciones están ligadas a numerosas equivalencias. Asi, se ha previsto realizar una interpretación conjunta de los datos eléctricos y TDEM en los puntos en los cuales se emplearon las dos técnicas (estos resultados se presentarán en el informe final).



Fig. 9 : Ejemplo de sondeo TDEM (punto E7).

VI. Breve resumen de los métodos geofísicos.

VI.1. La cartografía electromagnética Slingram.

El método electromagnético Slingram es un método con un débil número de inducción cuyo principio es el siguiente : El emisor y el receptor están constitudos por bobinas. La bobina emisora genera un campo primario al ser recorrida por una corriente alterna. Dicho campo genera en el suelo corrientes de Foucault, las cuales crean a su vez un campo secundario de frequencia idéntica al campo primario. La suma de los dos campos es medida por la bobina receptora. Las medidas realizadas dan directamente la conductividad (inverso de la resistividad) eléctrica aparente en mS/m según una respuesta en cuadratura (diferencia de fase de $\pi/2$ entre la señal primaria y la señal secundaria). La profundidad de investigación (magnitud ligada a la capacidad de ser sensible a una capa conductora debajo de una primera capa resistente o reciprocamente) no depende sino de la distancia emisor-receptor y es independiente de frecuencia de la señal.

La configuración utilizada es la DMV, o sea dipolo magnético vertical (o aún HCP lo que quiere decir que las dos bobinas son horizontales coplanares). Uno de los aparatos utilizados es el EM31 (Geonics Ltd.) el cual tiene una distancia fija entre las bobinas de 3,66 m y funciona a una frecuencia de 9,8 kHz. La profundidad de investigacion es del orden de 6 m según el modo utilizado (una vez y media la distancia entre bobinas). Su funcionamiento permite obtener una cartografía rápidade la conductividad de los terrenos superficiales (2 ha/día según una malla de 5 m \times 5 m en un terreno despejado). Esta cartografía puede ser invertida para obtener, por ejemplo, un mapa de los espesores de las capas (Guérin *et al.*, 1996). Otro aparato utilizado es el EM38 (Geonics Ltd.) en el cual la distancia entre la bobinas es del orden de 1,5 m. Usualmente se utiliza con una malla cuadrada de un metro de lado.

VI.2. La cartografía del gradiente vertical del campo magnético terrestre.

El campo magnético terrestre varía tanto en el tiempo como en el espacio. Induce en el subsuelo un campo secundario qui depende de la naturaleza del suelo y de su historia térmica. La magnetometría tiene como objeto la medida del campo magnético total el cual incluye componentes aditivos debidos a las heterogeneidades del subsuelo. Se detectan los muros, y sobre todo los lugares que han sido calentados, tales como hogares, hornos, etc., así como también diversos rellenos. La profundidad de investigación es variable (depende de las estructuras) y no tiene sentido sino en función de la malla utilizada. En nuestro caso, el método es sensible a los primeros metros con un máximo en el primer metre.

El dispositivo de medida empleado, un G858 (Geometrics), utiliza dos captores magnéticos cuyo funcionamiento está basado en el bombeo óptico en el vapor de Cesio. Los captores están orientados verticalmente y distantes de más o menos 70 cm. Esta configuración permite de protegersede las variaciones temporales del campo y por lo tanto no es necesario tener un captor de referencia situado en un estación fija. Finalmente se obtiene el valos del gradiente vertical del campo magnético por diferencia de los valores medidos en cada uno de los captores.

VI.3. El sondeo eléctrico.

El método eléctrico permite medir la resistividad aparente del subsuelo, integración de esa propiedad física que es la resistividad eléctrica (capacidad oponerse al paso de una corriente y la cual depende de la granulometría, de la mineralización así como del contenido de agua y de arcilla). La inyección de la corriente y la medida de la diferencia de potencial se realizan mediante electrodos plantados en el suelo. La medidad de la resistividad aparente, en Ω m, es una medida "integrante" representativa de un cierto volumen de terreno el cual depende de la posición de los electrodos y de la geometría del dispositivo utilizado. El dispositivo de medida se compone de dos pares de electrodos, el primero (electrodos A y B) sirve para invectar la corriente, mientras que el segundo (electrodos M y N) sirve para recibir la señal, y la cual es la diferencia de potencial generada por la invección de corriente en el terreno. Este tipo de técnica de adquisición (sondeo eléctrico) permite obtener una información cuantitativa de las variaciones verticales de la resistividad en función de la profundidad a la vertical del punto de sondeo. Varios tipos de dispositivo pueden ser empleados al realizar una prospección eléctrica, entre los cuales tenemos el dispositivo Wenner (cuya característica geométrica es que sus cuatro electrodos están alineados con AM=MN=NB=a) y el dispositivo Schlumberger (cuya característica geométrica es que los cuatro electrodos están alineados con MN<AB/5). Las medidas Wenner se realizaron con un sistema Offset-Wenner (Barker, 1981), lo cual permite optimizar el tiempo de instalación, de medida y de recoger los aparatos. Esta sistema utiliza grupos de cinco electrodosde los cuales se utilizan sucesivamente los cuatro de la izquierda y luego los cuatro de la derecha.

А	Μ	Ν	В		configuración 1
	А	Μ	Ν	В	configuración 2

La medida está dada por la media arimética de las dos configuraciones. La separación entre los electrodos sigue una prograsión geométrica de razón 2, permitiendo así utilizar tres de los cinco electrodos precedentes al pasar de un dispositivo al siguiente.

VI.4. El sondeo TDEM.

El TDEM (Time Domain ElectroMagnetism) o TEM (Transient ElectroMagnetism) es un método electromagnético con fuente controlada. La fuente del campo electromagnético (EM) primario es producido por una corriente eléctrica que circula por una bobina de emisora (cable en el suelo). La inducción es provocada por el corte periódico y súbito de esta corriente. Desde el final del corte, las corrientes inducidas se propagan en el suelo cada vez más lejos tanto horizontal como verticalmente a medida de que el tiempo transcurre. Dichas corrientes generan un campo EM secundario cuya amplitud, decreciente en función del tiempo, es medida en la superficie por una bobina receptora en ausencia de campo primario. El análisis de este decrecimiento temporal permite conocer la distribución de resistividades en función de la profundidad. Entre las principales ventajas de este método citaremos su profundidad de penetración importante para un dispositivo geométrico relativamente poco extendido en la superficie, así como una gran sensibilidad a la presencia de conductores. El lector podrá referirse a la publicaciones de sea de McNeill (1994), sea de Nabighian y Macnae (1991) para tener una descripción más completa del método.

El equipo utilizado es el TempFast, concebido para un estudio del planeta Marte. La configuración geométrica adoptada es la de la espira coincidente. Esta consta, en efecto, de una sola espira de 25 $m \times 25 m$ y la cual sirve sucesivamente de emisor y de receptor.

VII. Conclusión.

Esta primera interpretación nos a permitido poner en evidencia un canal al oeste de El Bosque, así como dos estructuras antrópicas en las proximidades del canal. Un estudio con georadar conducido por Dr. Larry Brown (Cornell University) se efectúa sobre estos mismos sitios. Las fuertes conductividades eleéctricas parecen constituir una seria desventaja para obtener informaciones tales como la profundidad del canal.

El estudio del valle es más compleja y dara lugar a un descriptivo completo en el informe final. Este estudio contendrá las interpretaciones conjuntas de los sondeos eléctricos y TDEM, así como las medidas de las resistividades efectuadas sobre muestras (medidad de diagrafías realizadas *in situ* sobre cortes de terreno mediante un mini-dispositivo eléctrico). Se mencionarán igualmente los análisis de suelo (datación, ...) realizados sobre las muestras y testigos extraídos en el terreno.

Referencias bibliográficas.

Barker R.D., 1981. The Offset System of electrical resistivity sounding and its use with a multicore cable. *Geophysical Prospecting*, 29, 128-143.

Guérin R., Méhéni Y., Rakotondrasoa G. and Tabbagh A., 1996. Interpretation of Slingram conductivity mapping in near surface geophysics : using a single parameter fitting with 1D model. *Geophysical Prospecting*, 44-2, 233-249.

McNeill J.D., 1994. Principles and applications of time domain electromagnetic techniques for resistivity sounding. Geonics, *Technical Note* TN27, Missisauga, Ontario.

Nabighian M.N. and Macnae J.C., 1991. Time domain electromagnetic propecting methods. In *Electromagnetic methods in applied geophysics*, Vol. 2 : Applications, Chap. 6, M.N. Nabighian editor, Society of Exploration Geophysicists.

Pastor L., Florsch N., Guyot I., Tascón R., Tihay J.P. et Viel R., 1998. Rapport d'évaluation des méthodes géophysiques - Site de Copán, Honduras.