

Revista de Investigaciones Arqueométricas



Octubre 2015 Vol.1 No. 1
RIA15-0103-IV

Publicado en nombre del Instituto de Geofísica de la Universidad Nacional Autónoma de México en colaboración con los Institutos de Investigaciones Antropológicas, Física y el Colegio de Michoacán

PERCEPCIÓN REMOTA Y PROSPECCIÓN ARQUEOLÓGICA EN LA LAGUNA, TLAXCALA

Jorge Blancas, Luis Barba,
Agustín Ortiz y David Carballo

13 páginas 6 figuras

Revista de Investigaciones Arqueométricas puede ser vista y copiada desde
<http://www.geofisica.unam.mx/michoacan/ria/>
Sus contenidos pueden ser reproducidos siempre que sean citados
correctamente

Investigación



PERCEPCIÓN REMOTA Y PROSPECCIÓN ARQUEOLÓGICA EN LA LAGUNA, TLAXCALA

¹Jorge Blancas, ¹Luis Barba, ¹Agustín Ortiz y ²David Carballo

¹ Instituto de Investigaciones Antropológicas, Laboratorio de Prospección Arqueológica, UNAM. Circuito Exterior S/N, Ciudad Universitaria, Del. Coyoacán, C.P. 04510, México, D.F.

² Boston University, College of Arts & Sciences, Department of Archaeology, 675 Commonwealth Avenue, Boston Massachusetts, 02215, USA.

Resumen

En la actualidad la percepción remota para aplicaciones arqueológicas y del patrimonio cultural constituye la primera etapa del análisis de la información y puede ser una técnica adicional para el estudio de un sitio. El contenido espectral de los datos, junto con una alta resolución espacial, hacen que las imágenes de satélite sean una fuente valiosa de información de un sitio arqueológico.

En este trabajo se aborda el empleo de imágenes satelitales de distintos sensores en conjunto con las técnicas geofísicas de prospección, para la identificación de rasgos asociados a las transformaciones del paisaje antiguo, inducido por las actividades humanas y por las estructuras arqueológicas enterradas.

La investigación se llevó a cabo en el sitio conocido como La Laguna en el Estado de Tlaxcala, un lugar que tuvo un desarrollo significativo durante el periodo Formativo o Preclásico. Los resultados derivados de este trabajo demostraron que se puede generar un producto temático útil para la investigación arqueológica aplicando distintas técnicas de proceso a las imágenes satelitales, y junto con los datos obtenidos de la prospección geofísica, constituyen una metodología apropiada para abordar este tipo de investigaciones.

PALABRAS CLAVE: Imágenes satelitales, técnicas geofísicas, paisaje antiguo, La Laguna, Tlaxcala, Preclásico.

Abstract

At present, remote sensing for archaeological and cultural heritage applications is the first step in the analysis of information and can be an additional technique for the study of a site. The spectral content of the data, along with a high spatial resolution, make satellite images a valuable source of information of an archaeological site.



In this paper the use of satellite images from different sensors is discussed together with geophysical prospecting techniques, to identify features associated with the ancient landscape transformations induced by human activities and buried archaeological structures.

The research was conducted at the site known as La Laguna in Tlaxcala, a place that had a significant development during the Formative or Preclassic period. The results from this study showed that it can generate a thematic product useful for archaeological research applying different processing techniques to satellite images, and together with the data obtained from the geophysical survey are an appropriate methodology to accost with this type of research.

KEY WORDS: satellite images, geophysical techniques, ancient landscape, La Laguna, Tlaxcala, Preclassic

Introducción.

Durante el Formativo Medio al Formativo Terminal (c. 600 a.C. – 150 d.C.) las culturas del Altiplano Central Mexicano tuvieron transformaciones críticas en su modo de vida, las cuales destacaron en su urbanización y en el desarrollo de tradiciones religiosas conocidas por culturas posteriores como la Teotihuacana y la Mexica.

Las investigaciones del *Proyecto Arqueológico La Laguna* han demostrado tales cambios en el sitio ocupado durante esa época. El programa integral de percepción remota, prospección geofísica, excavación y estudios químicos reveló patrones interesantes en la organización de estructuras ceremoniales, en las actividades llevadas a cabo en ellos y en el uso de efigies rituales fundamentales para las culturas del Clásico y Posclásico (Carballo et al. 2010, 2011).



El sitio arqueológico La Laguna está sobre el parte-aguas continental en el norte de Tlaxcala, se ubica en la ganadería y ex-hacienda del mismo nombre, junto con el Rancho Xalmonto, entre los municipios de Terrenate y Lázaro Cárdenas, de Estado de Tlaxcala (Figura 1). Las coordenadas del centro del sitio son 19°30'35" N (UTM, 2157635.443 m) y 98°00'20" W (UTM, 604302.6 m).

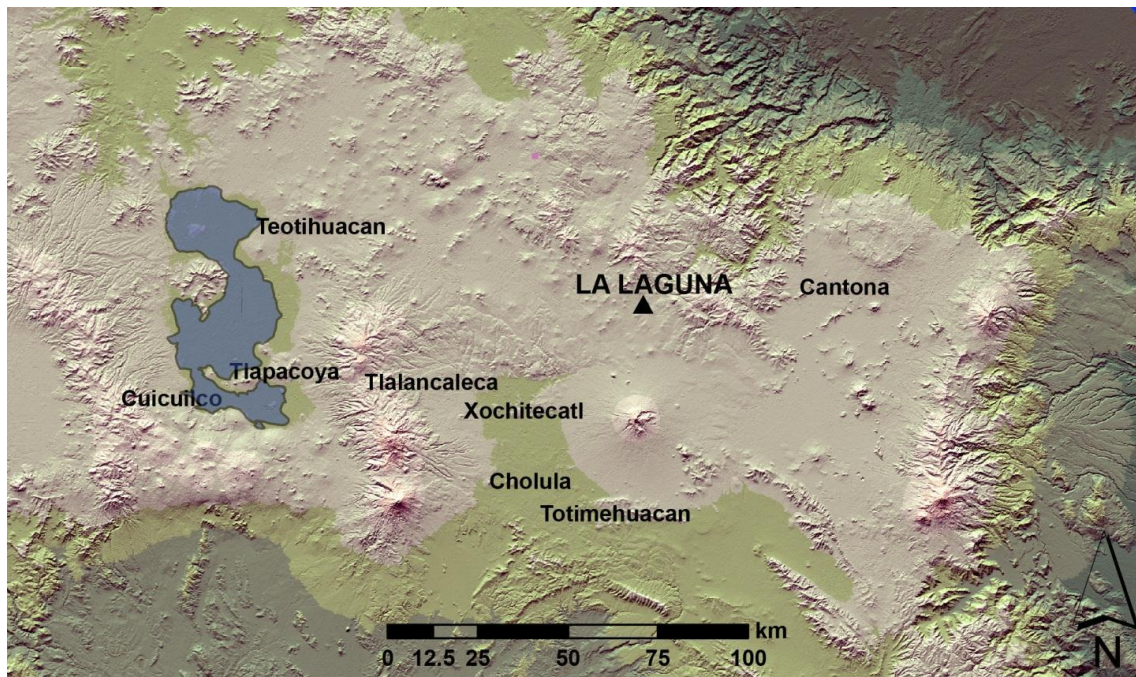


Fig. 1. Ubicación del sitio La Laguna con otros del Formativo Tardío y del Clásico.

Tiene un paisaje con planicies y volcanes cuaternarios, y un clima serrano agradable— con veranos húmedos e inviernos secos. El norte de Tlaxcala forma parte de un corredor natural que conecta el Altiplano Central (2500 msnm) con las tierras bajas alrededor del Golfo de México. La gente prehispánica de la región, los habitantes de La Laguna entre ellos, fueron participantes activos en los intercambios culturales y económicos entre las tierras altas y bajas, (Carballo y Pluckhahn, 2007).

La Laguna, Tlaxcala fue un centro de tamaño medio (100 ha), la ocupación formativa del sitio está concentrada sobre dentro de tres cerros. Los elementos arquitectónicos y culturales del sitio han sido cubiertos con depósitos coluviales producto de su ubicación en un llano entre estos cerros. Aunque esta situación ha facilitado la preservación de restos arquitectónicos, ha cubierto a las estructuras vistas



desde la superficie, requiriendo excavaciones extensas y, a veces profundas, así como prospección geofísica para localizar y delimitar las estructuras enterradas.

En este trabajo se presentan los resultados de la percepción remota y la prospección geofísica, así como sus implicaciones en la identificación de espacios sagrados, ofrendas rituales y las transformaciones al paisaje frente la urbanización de la región.

Objetivos

Para el análisis de La Laguna, se establecieron los siguientes objetivos:

- Emplear las imágenes digitales del sensor *QuickBird* para identificar rasgos espaciales y espectrales en la vegetación y el suelo asociados con la presencia de estructuras arqueológicas y con modificaciones al paisaje.
- Realizar la clasificación de las distintas coberturas para obtener un mapa temático con contenido cultural.
- Aplicar las técnicas de prospección geofísica a las zonas culturalmente clasificadas para determinar los alcances de los sensores remotos y su utilidad la investigación arqueológica.

Materiales y Métodos

Para este punto, se trataron las siguientes técnicas:

Percepción remota -imágenes *QuickBird*. Las imágenes de *QuickBird* en modo *bundle* (multiespectral y pancromático), fueron seleccionadas del catálogo de *Digital Globe* correspondientes al número 90100100746C4A00, del 4 de Abril del 2009, con resoluciones espaciales de 2.44 m para las bandas multiespectrales (0.45 – 0.90 μm , B01, B02, B03, B04), y de 0.61 m para la banda pancromática (0.45 – 0.90 μm , PAN).

- **Datos topográficos y geofísicos.** Los datos topográficos fueron inicialmente adquiridos con una estación total y posteriormente con un GPS diferencial modelo *Ashtech Promark-2*. La prospección magnética fue hecha en modo de gradiente magnético vertical con el gradiómetro modelo *FM36* de la marca *Geoscan*, con



resolución de 0.1 nT (nanoteslas). El estudio con el georradar (*GPR*) se realizó con el equipo *SIR-2*, empleando una antena monoestática de 400 MHz, de la casa *GSSI*.

Procesamiento de los Datos

Para el proceso de datos, se estableció lo siguiente:

Imágenes satelitales. Las imágenes originales en valores de ND (números digitales), se convirtieron a variables físicas (radiancia y reflectancia) para realizar interpretaciones comparables con las observaciones de campo (*Krause 2005*). Primero se obtuvo la radiancia a partir de los ND originales, posteriormente se realizó la corrección atmosférica para eliminar el efecto de dispersión sobre las imágenes con el modelo *COST* (coseno del ángulo cenital solar), propuesto por Chávez (1996). Después se realizó la fusión de las imágenes, entre la pancromática de mayor resolución espacial y las multiespectrales, obteniéndose nuevas imágenes con el brillo y la calidad espacial de la pancromática y con el contraste cromático de la multiespectral.

Lo que se pretendía con este proceso, era mejorar la interpretación de los datos, realzando el brillo y resolución espacial de las imágenes para distinguir visual y numéricamente los distintos tipos de coberturas. Luego se realizó la transformación con el análisis de las componentes principales (ACP) para quitar la correlación entre las bandas, obteniendo nuevas imágenes, con información sustancial no correlacionada, para su análisis a través de la matriz de carga y representada en una composición de falso color (CP1, CP2 y CP3).

Esta transformación puede aportar información, más fácil de interpretar que los datos originales (Jensen, 1996). Finalmente, se obtuvo un producto temático con los distintos tipos de coberturas sobre el terreno, empleando la clasificación supervisada con el método de máxima probabilidad (*Maximum likelihood*). En general se considera un buen clasificador y el criterio de clasificación es muy robusto, ajustándose mejor que otros a la distribución original de los datos (Chuvienco, 2008).

Gradiente magnético. En total se adquirieron 83200 lecturas en modo de gradiente magnético vertical, correspondiendo a 52 retículas de 20 x 20 m, cubriendo un área total de 20,800 m². Los datos fueron tratados con diferentes técnicas de



proceso con el software *Geoplot* (Geoscan, 2009), para corregir errores en la adquisición de datos, atenuar parte del ruido magnético moderno e interpolar los datos para una buena representación, (Hesse et al. 1997).

Algunos de los procesos empleados fueron la interpolación, *despike* (elimina lecturas aleatorias y espurias fuera de un rango preestablecido, causadas por basura metálica en la superficie), *destagger* (corrige el desplazamiento de las anomalías causadas por la adquisición en *zig-zag*), filtro paso-bajas (suaviza los datos al remover el ruido de alta frecuencia producido por pequeños elementos) y *zero-mean grid* (establece un umbral promedio para las retículas levantadas en distintos horarios, creando un mapa promedio representativo del sitio).

Los datos fueron representados con el programa *Transform* (Fortner Research LLC Inc., 1996) y *Surfer* (Golden Software Inc., 2010) para destacar dipolos magnéticos, asociados con límites de estructuras, rellenos, superficies sometidas a calentamiento, material superficial, muros y otras estructuras constructivas principalmente de roca volcánica.

Georradar (gpr). La adquisición de los datos fue realizada en modo de reflexión continuo, para explorar el subsuelo hasta una profundidad aproximada de 2 m. Los perfiles de georradar se recolectaron con una ventana de tiempo de 60 ns, 32 trazas por segundo y 512 muestras por traza.

Los datos se procesaron con el programa *Radan 6.6 de GSSI*, para remover el ruido de alta y baja frecuencia, mejorar la resolución horizontal y vertical, normalizar la distancia horizontal y estimar la profundidad de penetración. Los procesos empleados fueron: filtrado paso-banda con frecuencia de corte de (75-800 MHz), filtro *background removal* de 999 trazas, filtro *running average* de 7 trazas, normalización de distancias y ajuste de ganancias.

Resultados

Con la aplicación de las técnicas mencionadas, se obtuvieron los siguientes resultados:



Clasificación supervisada. El mapa temático generado a partir de la clasificación supervisada, incluye las principales cubiertas observadas en la superficie del terreno. La zona de interés arqueológico, al centro de la imagen, se encuentra dentro de las categorías bosque, vegetación estresada, y tierra seca.

De acuerdo al contexto y con los recorridos arqueológicos de superficie, la zona cultural se interpretó como la mezcla de estas categorías y con la textura de la imagen en estas zonas. La imagen muestra, en color violeta, las áreas del terreno que se ajustan a los criterios de clasificación cultural, sin embargo, en la parte noroeste, hay lugares tendrían que verificarse para probar que tienen relación con los asentamientos del Formativo (Fig.2).

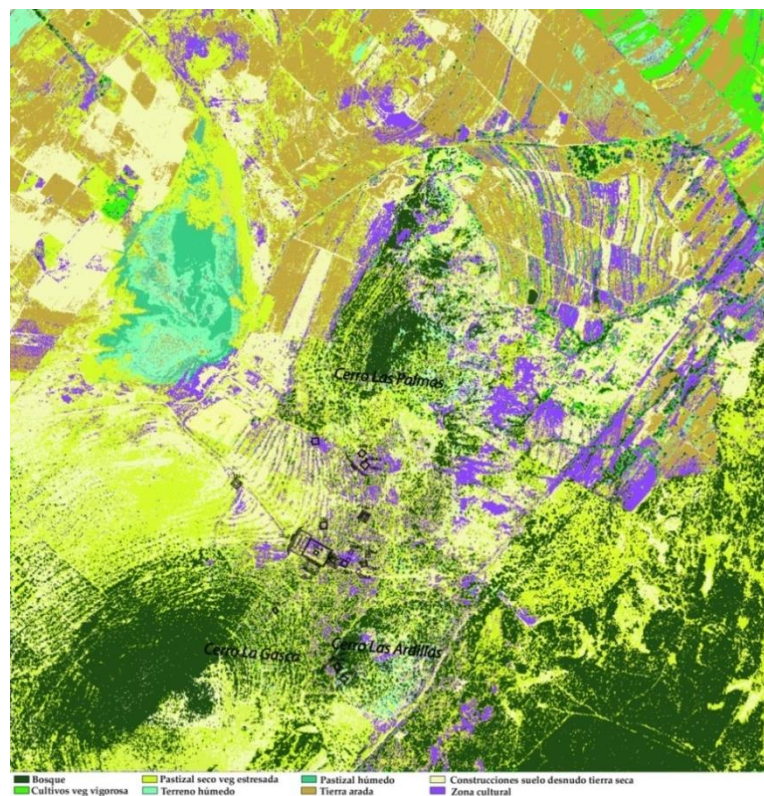


Fig. 2. Mapa temático obtenido por clasificación supervisada revelando las zonas de interés arqueológico.

Integración de las imágenes satelitales con la topografía del sitio. Con la combinación del modelo digital del terreno (MDT) y las imágenes derivadas de los sensores remotos, se evidenció la relación entre el relieve y la actividad cultural en el sitio, sobre todo en el pequeño valle entre los tres cerros del sitio y en las terrazas. La representación de las componentes principales CP2 y CP3 (canal verde + azul), en color



cian, derivado de la mezcla aditiva de las componentes en el suelo y vegetación del sitio, está asociada con los lugares en donde se han registrado la mayor parte de las estructuras arqueológicas y materiales derivados de actividades culturales del Formativo (Fig. 3).

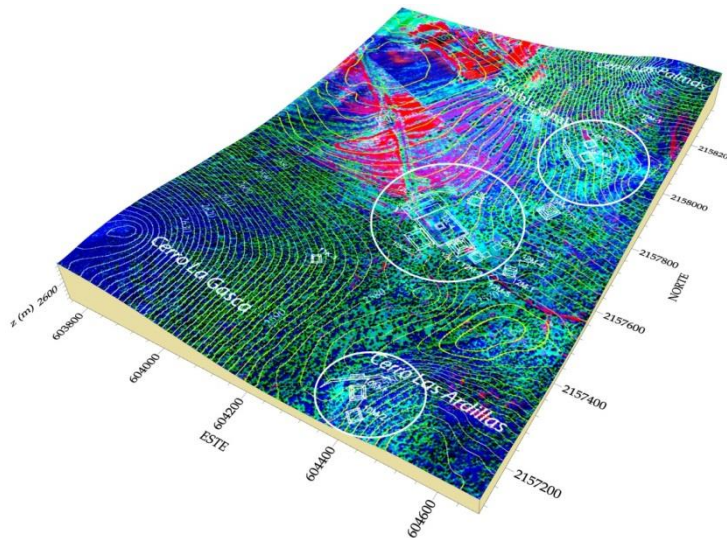


Fig. 3. Combinación de la imagen de componentes principales (PCA) y el MDT, mostrando la relación que con el asentamiento del Formativo.

Imagen de componentes principales y gradiente magnético. La correspondencia encontrada entre la imagen de componentes principales y el gradiente magnético se atribuye principalmente a la combinación de los materiales constructivos, tierra y piedra, que al mezclarse con los depósitos coluviales, modificaron las propiedades del suelo original, diferenciándose de otras zonas con ausencia de materiales arqueológicos. Los patrones de color cian sólo se encuentran en algunas porciones del terreno, correlacionándose bien con los datos magnéticos. Es posible que en estas zonas la respuesta espectral del suelo y la vegetación fuera modificada por actividades modernas, como el camino que cruza el sitio, la ganadería y la agricultura (Figura 4).

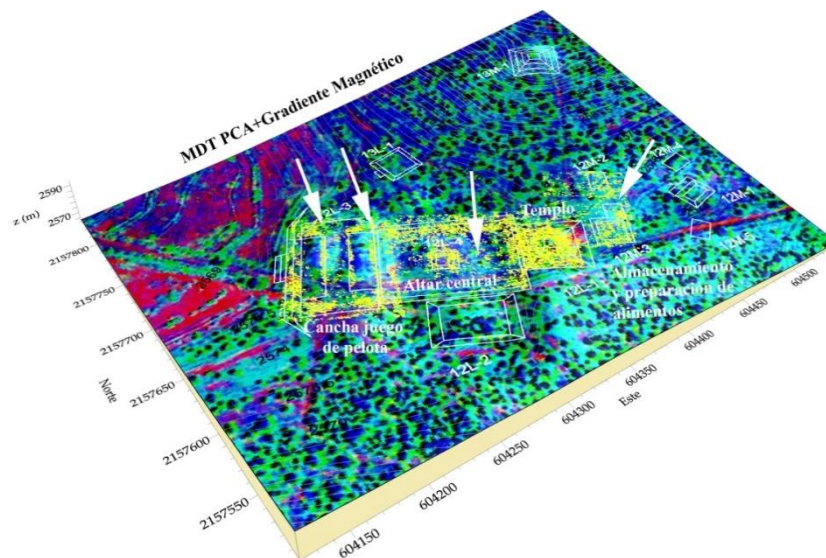


Fig. 4. Superposición de los datos magnéticos (color amarillo) y la imagen del satélite PCA sobre el MDT, destacando las áreas donde hay correspondencia.

Prospección con gradiente magnético y georradar. En una zona señalada por la percepción remota, al oriente del sitio, se realizó la prospección con gradiente magnético y georradar sobre la estructura 12M-3. Los datos magnéticos sugerían áreas sometidas a calentamiento y los cimientos de estructuras rectangulares de piedras volcánicas, estas anomalías también fueron confirmadas por los datos de georradar.

La correlación de las anomalías magnéticas con las reflexiones registradas en los cortes de profundidad con georradar es similar. El gradiente magnético tiende a sobredimensionar los elementos que detecta, mientras que el georradar, con el intervalo entre líneas muy cerrado (0.5 m), registra mejor los límites, las dimensiones de los muros y los elementos al interior de los cuartos (Figura 5).

La superposición de los mapas geofísicos sobre las fotografías aéreas, muestran la relación que hay entre las anomalías registradas con ambas técnicas y los elementos arqueológicos encontrados. La mayoría de los elementos encontrados son muros y otros que se habían interpretado como su continuación son producidos por tlecuiles o fogones, ubicados al noreste y sureste de la fotografía aérea. Otras reflexiones no tienen correspondencia con la arquitectura, y están asociadas con elementos aislados



en el relleno de la excavación y también generadas por la dispersión de las reflexiones (Figura 6).

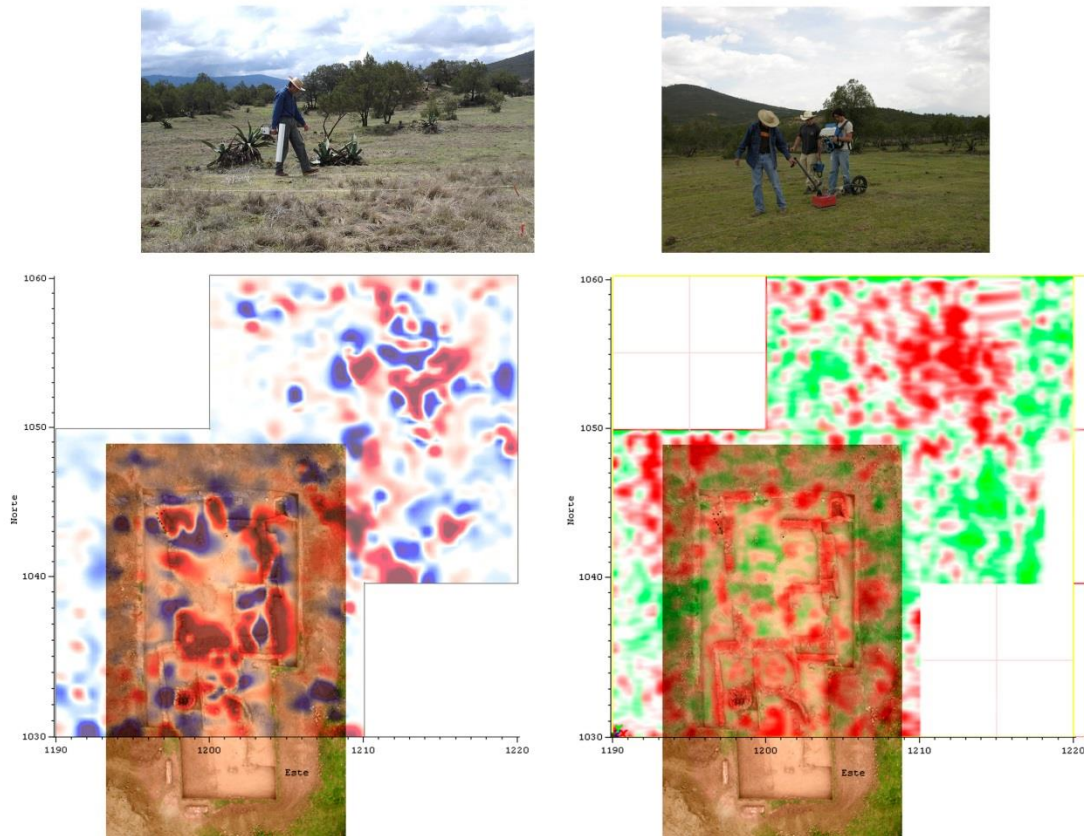


Fig. 5. Superposición de la fotografía aérea de la excavación arqueológica sobre el gradiente magnético (izquierda) y los cortes profundos del georradar (derecha) sobre.

La superposición de los mapas geofísicos sobre las fotografías aéreas, muestran la relación que hay entre las anomalías registradas con ambas técnicas y los elementos arqueológicos encontrados. La mayoría de los elementos encontrados son muros y otros que se habían interpretado como su continuación son producidos por tlecuiles o fogones, ubicados al noreste y sureste de la fotografía aérea. Otras reflexiones no tienen correspondencia con la arquitectura, y están asociadas con elementos aislados en el relleno de la excavación y también generadas por la dispersión de las reflexiones (Figura 6).



Fig. 6. Superposición aproximada de elementos culturales y depósitos de tiestos y otros materiales de mayor tamaño in situ sobre la fotografía de la excavación arqueológica (Adaptado de Carballo, 2011).



Conclusiones

Con la información obtenida de la percepción remota, la prospección geofísica los fue posible localizar estructuras enterradas y determinar sus dimensiones, formas y profundidades. Posteriormente, en las áreas excavadas se determinó con estudios químicos sobre los pisos las áreas de actividad.

Los resultados derivados de este trabajo demostraron que se puede generar un producto temático útil para la investigación arqueológica aplicando distintas técnicas de proceso a las imágenes satelitales, y junto con los datos obtenidos de la prospección geofísica, constituyen una metodología apropiada para abordar este tipo de investigaciones, ya que permiten localizar indirectamente rasgos arqueológicos producidos por estructuras enterradas, desde una gran escala, hasta un nivel sub-métrico, y que pueden ser verificadas mediante la excavación arqueológica para comprobar los alcances de esta metodología de estudio.

Lo más relevante fue el papel de los materiales constructivos, tierra y piedra, que al mezclarse en grandes cantidades con los sedimentos que recubren, alteran las propiedades de tal forma que permite reconocer con los sensores remotos, el área que no tiene el suelo original y eso es de especial interés para esta investigación pues indica el área que el trabajo humano altera en el terreno.

BIBLIOGRAFÍA

Carballo, David., Luís Barba, Jorge Blancas, Agustín Ortiz, Isabel Rodríguez, Jorge Toledo, Alejandra Gómez, Nicole Ortmann. 2010. Proyecto Arqueológico La Laguna, Tlaxcala, temporada 2009. Informe técnico al Instituto Nacional de Antropología e Historia. University of Alabama-Universidad Nacional Autónoma de México.

Carballo, David, Luís Barba; Jorge Blancas, Agustín Ortiz, Jorge Toledo, Nicole Cingolani. 2011. La Laguna, Tlaxcala: ritual y urbanización en el Formativo. Revista *Teccalli*. Julio-Diciembre del 2011. 2(1):1-11. Estudios Puebla-Tlaxcala. Instituto Nacional de Antropología e Historia. Centro INAH-Tlaxcala.



- Carballo, David M. y Thomas Pluckhahn. 2007. Transportation corridors and political evolution in highland Mesoamerica: Settlement analyses incorporating GIS for northern Tlaxcala, Mexico. *Journal of Anthropological Archaeology* 26 (2007):607–629.
- Chávez Jr. y P. S. 1996. Image-based atmospheric corrections: Revisited and improved. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 62:1025-1036.
- Chuvieco, Emilio. 2008. *Teledetección Ambiental. La observación de la Tierra desde el Espacio*. Editorial Ariel, S.A. Barcelona, España.
- Fortner Research LLC, Inc. 1990-1996. *Transform V3.3. Data Visualization for 2D Matrix and Image Data*.
- Golden Software Inc. 1993-2010. *Surfer V.9. Surface Mapping System*.
- Geoscan Research. 2009. *Instruction Manual Version 2.98*.
- Hesse, Albert, Luis Barba, Karl Link, Agustin Ortiz. 1997. A Magnetic and Electrical Study of Archaeological Structures at Loma Alta, Michoacan, Mexico. *Archaeological Prospection* 4(2):53-67.
- Jensen, J. R. 1996. *Introductory digital image processing: A remote sensing perspective*. Prentice-Hall. New Jersey. USA. 379 p.
- Krause, Keith. 2005. Technical Note. Radiometric Use of QuickBird Imagery. Digital Globe.