

# Estudio espacial de los tepetates del eje neovolcánico mexicano: metodología para un programa de investigación

Alice SERVENAY, Christian PRAT,  
Valentino SORANI, Eduardo GONZÁLEZ

## **Abstract**

*Because of the imprecision of the known surface and the real distribution of the tepetates along the neovolcanic belt, as well as the agro-socio-economical problems that cause the presence of this volcanic indurated level in the fields, we proposed to test a methodology which uses both teledetection and GIS on 1/25,000 scale to identify the area with tepetates. This work, based on previous knowledge of natural and anthropogenic reasons for the apparition of tepetates, aims to precise if information gathered in the Mexico and Tlaxcala valleys is also valid for the rest of the neovolcanic belt. We created a map of 'potential tepetate presence' with a GIS and confronted it with teledetection views and field information. Then we crossed agro-socio-economic data to determine types of agriculture and life conditions. Crossing this map with those of the presence of the tepetates, we could define conditions and propositions for the generation of new soil from tepetates.*

**Keywords:** Tepetate - Mexico - Methodology - Teledetection - Landsat - Mapping - GIS - Agro-socio-economy

## **INTRODUCCIÓN**

Gracias a varios trabajos de investigación, en particular los realizados en el marco del programa ORSTOM-CP-UAT-UG con un cofinanciamiento de la Unión Europea (Quantin, 1992; Zebrowski *et al.*, 1992), se conocen bastante bien las características bio-físico-químicas de los tepetates de los valles de México y de Tlaxcala. Se sabe también que es factible la formación de un suelo agrícola a partir de los tepetates estériles, duros, que afloran a la superficie (Báez *et al.*, 1997). Sin embargo, se carece de información relacionada con la extensión, las características, etc. de estos horizontes volcánicos endurecidos a lo largo del eje neovolcánico mexicano.

Según unos estudios, los tepetates cubrirían 30.000 km<sup>2</sup> (Zebrowski, 1992) mientras que otros señalan la cifra de 140.000 km<sup>2</sup> (Guerrero *et al.*, 1992). Además de esta imprecisión en cuanto a la extensión real, se desconoce la localización exacta de estas tobas

volcánicas endurecidas. Dadas las inmensas superficies a cubrirse, se puede realizar, a un primer nivel, un estudio espacial de la localización utilizando la teledetección asociada a una verificación de campo y naturalmente los documentos existentes (mapas de suelos, geología...).

Conociendo la localización de los tepetates, es posible, en una segunda etapa, averiguar si las condiciones de habilitación de estos materiales determinadas en los valles de México y de Tlaxcala son válidas para otras zonas. Ellas están relacionadas con el medio natural (clima, pendientes...) y humano (tipo de agricultura, de cultivos, nivel de recursos de la población...). Cruzando estas informaciones mediante un sistema de información geográfica (SIG) se pueden determinar las zonas similares a las conocidas, delimitar las zonas prioritarias para incorporar a la agricultura los tepetates aflorantes, hacer recomendaciones adaptadas al medio natural y humano, de modo que los nuevos suelos sean productivos lo más rápida y efectivamente posible, con un enfoque de desarrollo sustentable.

El estudio espacial de los tepetates aquí presentado es un trabajo en el que se utilizaron dos métodos distintos: la creación y el uso de un SIG y el procesamiento de algunas imágenes de satélite mediante la teledetección. Cada método va a proporcionar por sí solo una serie de informaciones, pero es ciertamente la correlación entre los dos lo que va a ofrecer la información más útil: la localización de las zonas prioritarias (desde un punto de vista tanto humano como del medio ambiente) en las que se podría convertir los tepetates erosionados y estériles en suelos de buena calidad agronómica.

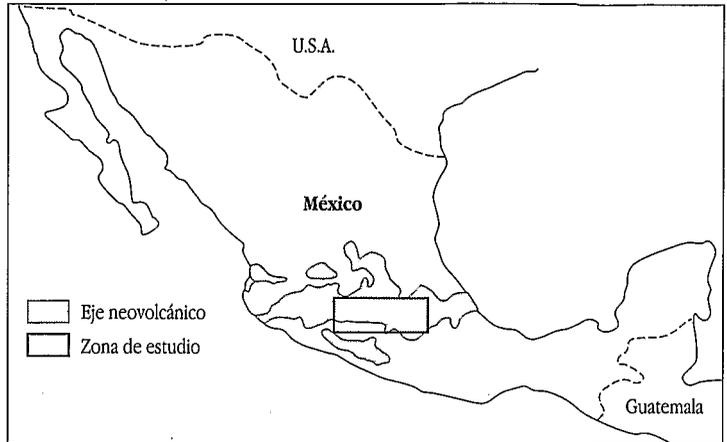
Este trabajo permitirá hacer una evaluación a varios niveles de análisis. En un inicio se podrá averiguar si la metodología utilizada para localizar los tepetates es eficaz o si es necesario cambiar algunos parámetros para mejorar los resultados. A manera de *feedback*, se podrá evaluar si los datos de referencia en cuanto a las condiciones de aparición de los tepetates son válidos fuera de los valles de México y de Tlaxcala. También será posible evaluar la facilidad de consecución de las informaciones necesarias provenientes de muy diversas instituciones y contenidas en diferentes soportes (papel, diskett, fotografías...). Finalmente, se estimarán, para una zona representativa del eje neovolcánico, el tiempo y los costos necesarios para elaborar este tipo de estudio, lo que podrá ser extrapolado al eje neovolcánico en su totalidad.

## **METODOLOGÍA**

El área de estudio seleccionada para este trabajo corresponde a los mapas del INEGI, a escala 1:250.000, de Morelia y de la ciudad de México, más una cuarta parte de los mapas de Pachuca y Querétaro, lo que representa una superficie total de 60.000 km<sup>2</sup> (figura 1). Esta zona fue escogida por cubrir la mayor parte de las áreas experimentales estudiadas por los programas ORSTOM-CP-UAT-UG, que pueden utilizarse como áreas de referencia, al igual que la cuenca del lago de Cuitzeo (Michoacán) donde se está elaborando un proyecto de investigación para el rescate de dicho lago.

Los datos utilizados son en su mayor parte mapas a escala 1:250.000 del INEGI (geología, edafología, climatología, topografía, uso del suelo) que datan de los años 80. Del mismo instituto, se obtuvieron los datos socioeconómicos disponibles en dos CD de la base de datos CIMA que corresponde a los resultados de los censos de 1985 y 1990 (los resultados del censo de 1995 no están aún disponibles en su totalidad). Se contó igualmente con el mapa de inventario forestal y el modelo numérico de terreno (MNT) realizados por el Instituto de Geografía de la UNAM para la SARH (1994) entre 1992 y 1995. Esa misma institución facilitó las imágenes de satélite Landsat TM, con sus 7 canales. Para cubrir la zona de estudio, se requirió parte de 7 imágenes.

**Figura 1**  
**Localización de las**  
**comunidades estudiadas**



De una forma u otra, las instituciones que participan en este trabajo son el ORSTOM, el Instituto de Geografía de la UNAM, el Colegio de Postgraduados en Agrociencias (estado de México) y la Universidad de Tolosa-Le Mirail en Francia.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### El medio físico

Conociendo las diferentes condiciones de afloración de los tepetates a la superficie de los suelos, es posible cruzar información cartográfica para obtener un mapa de su presencia potencial. Peña y Zebrowski (1992) consideran que los tepetates en los valles de México y Tlaxcala están presentes si el material geológico es piroclástico y del Cuaternario, si los suelos tienen una fase dúrica o fragipánica, si las precipitaciones anuales son inferiores a 800 mm con una época seca de 4 meses mínimo y si la geomorfología corresponde a las zonas de piedemonte de las sierras con pendientes superiores a 5-10 por ciento, con una altitud inferior a los 2.800 m.s.n.m. En cuanto al uso de suelo, los tepetates no afloran en las zonas de riego y tampoco en los bosques en buen estado, lo que, de una manera general, no es el caso en la frontera forestal.

En primer lugar, la información requerida para crear un sistema que permita encontrar los tepetates es la siguiente: mapas geológico, edáfico, de precipitaciones, de uso del suelo, de inventario forestal, de zonas de riego. Al principio, toda esta información, salvo la del inventario forestal, estaba disponible únicamente en papel. Fue necesario entonces transferirla a un soporte magnético (diskett), para lo cual, primeramente se dibujaron, en papel calco, los límites de las unidades, para luego «scanearlas» y finalmente vectorizarlas. Después de una corrección de los límites «scaneados», que nunca son perfectos, se constituyó la base de datos para cada unidad con la información de los mapas y se la unió a la base cartográfica. Una vez finalizados los mapas de un mismo tema, se verificó que los bordes de cada mapa correspondieran con los de los demás y que los polígonos tuvieran su número de referencia. En cuanto a las pendientes, el modelo numérico de terreno (MNT) las proporciona de manera automática. Al cruzar la información de cada una de las capas geográficas de este SIG, se obtuvo el mapa de localización teórica de los tepetates.

En segundo término, se elaboró un mapa de los tepetates a partir del procesamiento de las imágenes de satélite. Este trabajo consistió en una clasificación dirigida focalizada en la presencia de los tepetates. Gracias a recorridos de campo durante los cuales se tomaron puntos de referencia mediante un GPS (*Geo Positionning System*), se efectuaron correlaciones entre unidades de las imágenes, firmas espectrales de cada canal y presencia o ausencia de tepetates. Obviamente, se trata aquí únicamente de los tepetates que afloran.

Al mapa de localización teórica de los tepetates se sobrepuso el resultado del procesamiento de las imágenes de satélite. Con la ayuda de mapas de suelos muy detallados que sirvieron de referencia, se pudo conocer si las áreas delimitadas con uno y otro sistema coincidían o no. En los casos negativos, se efectuaron correcciones para eliminar o incluir zonas en uno de los dos tipos de mapeo. Finalmente, se obtuvieron las superficies, un mapa de localización de los tepetates aflorantes y otro de tepetates «potenciales».

### **El medio humano**

En México se dispone de los resultados numerizados de los censos nacionales de 1985 y 1990. El INEGI pone a disposición de los usuarios los resultados del censo de 1995 bajo la forma de anuarios numerizados. Cada municipio está relacionado con las variables del censo, de tal forma que se pueden integrar directamente los resultados a una base de datos para conformar un SIG.

Se procesaron los datos correspondientes a los 910 municipios de la zona considerada. En primera instancia, se seleccionaron 9 criterios relacionados con las características de la población (edad, sexo, nivel de educación...), 4 con la economía (ingresos anuales, repartición entre sectores de la actividad económica...), 15 con el nivel de pobreza (acceso al agua, a la electricidad, nivel de desempleo...) y 29 correspondientes a datos agropecuarios (forma de tenencia de la tierra, superficie cultivada, tipo de producción, número de animales...). En una segunda etapa, se están comparando los criterios a fin de ver si se duplican o no, lo que permitirá eliminar las variables inútiles.

### **Relación del medio natural con el medio humano**

Relacionando la base de datos del medio ambiente con la de las condiciones agro-socioeconómicas de los municipios estudiados, se logró caracterizar el uso de las áreas con tepetates y las comunidades locales.

La información obtenida permite alcanzar un triple objetivo: conocer las condiciones agropecuarias para saber si las recomendaciones en cuanto al manejo de los tepetates recién roturados son válidas; determinar las características socioeconómicas de la población para determinar sus capacidades, en particular económicas, para fomentar un programa de roturación de los tepetates; y finalmente obtener informaciones que permitan estimar los impactos agro-socioeconómicos de dicha roturación en las comunidades campesinas involucradas en estos programas.

Por ejemplo, en zonas muy erosionadas con tepetates aflorantes de comunidades pobres, es indispensable emprender un programa de roturación de dicho material con un financiamiento necesariamente exterior. En otro caso, se puede observar la aparición de tepetates en el límite entre bosque y campo, lo cual indica un manejo inadecuado del bosque, generalmente por sobre-pastoreo (Navarro y Prat, 1996). La situación se puede controlar apoyando a la comunidad con asesoría técnica centrada en la ganadería y la producción de forraje así como en el manejo y el aprovechamiento adecuado del bosque, en cuyo caso se trata más de una acción preventiva que de un programa de roturación de los tepetates.

## CONCLUSIÓN

Después de cinco meses de trabajo, las diferentes capas del medio físico y humano del SIG están listas y se han llevado a cabo los recorridos de campo, determinado los puntos GPS de referencia, etc., mientras que apenas se inicia el procesamiento de las imágenes de satélite. A pesar de contar con casi toda la información necesaria, se han encontrado problemas de compatibilidad entre computadoras y equipos informáticos conexos. Se ha previsto concluir el procesamiento de los datos en el transcurso del primer semestre de 1997.

Los productos finales serán presentados principalmente bajo la forma de mapas: el mapa de localización «potencial» de los tepetates, el de tepetates aflorantes, el de las características agroeconómicas de las comunidades que tienen tepetates y finalmente el mapa de las áreas de acción prioritaria de protección ambiental. Estos mapas servirán para apoyar el desarrollo socioeconómico de comunidades generalmente marginadas.

Si se logran los objetivos, estos documentos permitirán estudiar, con la misma metodología, la parte restante del eje neovolcánico mexicano para disponer finalmente de datos precisos sobre la problemática de los tepetates en México.

Los trabajos se realizaron a escala 1:250.000, lo que permitirá a políticos, instituciones de estados y federales planear fácilmente programas de acción. Sin embargo, será necesario, una vez definidas las grandes opciones, trabajar localmente a una escala de 1:50.000 o más detallada. Esto dependerá de la comprensión de la problemática y en definitiva de la voluntad política de las autoridades mexicanas...

## Referencias bibliográficas

- BAÉZ, A.; ASCENCIO, E.; PRAT, C.; MARQUÉZ, A., 1997: Análisis del comportamiento de cultivos en tepetate 3 incorporado a la agricultura pluvial (1993 a 1995), Texcoco, México, en este volumen.
- GUERRERO, E.; LUNA, J. L.; CABALLERO, E., 1992: Distribución de los tepetates de la República Mexicana, escala 1:4'000.000, en *Terra*, Vol. 10 (número especial: Suelos volcánicos endurecidos, Primer Simposio Internacional, México, 20-26 de octubre de 1991), ORSTOM-Colegio de Postgraduados de Montecillo, México, p. 131-136.
- NAVARRO, H.; FLORES, D.; PÉREZ M. A., 1997: Desarrollo agroecológico y factores agronómicos de la productividad en suelos volcánicos endurecidos, en este volumen.
- NAVARRO, H.; PRAT, C., 1996: Habilitación agrícola de los tepetates de los valles de México y de Tlaxcala, en *El campo mexicano: una modernización a marchas forzadas*, P. Bovin (editor), CEMCA-ORSTOM, México, p. 253-291.
- PEÑA, D.; ZEBROWSKI, C., 1992: *Estudio de los suelos volcánicos endurecidos (tepetates) de las cuencas de México y Tlaxcala (México). Informe del mapa morfopedológico de la vertiente occidental de la Sierra Nevada*, anexo al informe final, Contrato CCE-ORSTOM N° TS2-0212, 101 p.
- QUANTIN, P., 1992: *Étude des sols volcaniques indurés - tepetates - des bassins de Mexico et de Tlaxcala, en vue de leur réhabilitation agricole*, Rapport scientifique final, contrat CEE/ORSTOM TS2-0212.
- SARH, 1994: *Memoria del inventario nacional forestal periódico*, México, 47 p.
- ZEBROWSKI, C. 1992: Los suelos volcánicos endurecidos en América Latina, en *Terra*, Vol. 10 (número especial: Suelos volcánicos endurecidos, Primer Simposio Internacional, México, 20-26 de octubre de 1991), ORSTOM-Colegio de Postgraduados de Montecillo, México, p. 15-23.
- ZEBROWSKI, C.; PRAT, C.; ETCHEVERS, J.; ARIAS, H.; MIRANDA, M.E., 1992: *Terra*, Vol. 10 (número especial: Suelos volcánicos endurecidos, Primer Simposio Internacional, México, 20-26 de octubre de 1991), ORSTOM-Colegio de Postgraduados de Montecillo, México, 572 p.