

REUTILIZACION DE SUELOS VOLCANICOS EROSIONADOS SIN PROMOVER MAS DEGRADACION

Juan F. Gallardo Lancho¹

INTRODUCCION

Gran parte de la información vertida en este artículo se ha generado en el Proyecto internacional e interdisciplinario de la Unión Europea (U. E.) "*REhabilitation of deteriorated VOLcanic SOils in Mexico and Chile*" (**REVOLSO**), perteneciente al Programa INCO, que se ha desarrollado entre los años 2002 y 2006.

Este Proyecto, cofinanciado por la División General XII de la U.E., ha sido liderado por el Dr. Gerd Werner, de la Universidad *Justus-Liebig* de Giessen (Alemania). En la **Tabla 1** se exponen los equipos internacionales participantes en el Proyecto **REVOLSO**.

Tabla 1. Equipos participantes en el Proyecto **REVOLSO** (Programa **INCO**/U. E.).

<i>Justus-Liebig-Univ. (JLU)</i> Giessen, Alemania; <i>Zentrum für Internationale Entwicklungs- und Umweltforschung (ZEU)</i>	<i>Institut de Recherche por le Développement (IRD)</i> , Paris, Francia	Colegio de Post-graduados (CPM), Montecillo, Edo. de México, Méjico
Universidad Autónoma de Chapingo (UACH), Edo. de México, Méjico	Universidad de Concepción (UDEC), VIII. Región Campus Chillán, Chile	Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), Salamanca, España
Universidad Autónoma de Tlaxcala (UAT), Edo. de Tlaxcala, Méjico	Centro Nacional de Producción Sostenible (CENAPROS), Morelia, Mich., Méjico	<i>Centro Interdipartimentale di Ricerche Agro-ambientali (CIRAA)</i> Univ. de Pisa, Italia

Se trabajó con dos parcelas pilotos ubicadas en Atécuaro (Morelia, Estado de Michoacán) y Tlalpan (Estado de Tlaxcala), ambas en Méjico; también se utilizó complementariamente otra más en López Mateos (Estado de Tlaxcala, Méjico). Otras parcelas estuvieron localizadas en Chile, pero no se citarán aquí dado que las condiciones geográficas, climáticas, agrícolas y socioeconómicas son bastante diferentes que para los demás países andinos.

El principal objetivo del **REVOLSO** fue convertir tierras improductivas erosionadas por el hombre en otras aceptablemente productivas; esto es, desarrollar paquetes tecnológicos para la rehabilitación sostenible de suelos volcánicos degradados. Otros objetivos fueron: Validar la agricultura orgánica, la agroforestería y la rotación de cultivos tradicionales para frenar la erosión; generar técnicas productivas rentables que garanticen la prevención de la erosión; y difundir resultados y experiencias exitosas en países con suelos volcánicos degradados.

¹ CSIC, Aptado. 257, Salamanca 37071 (España). <jgallard@usal.es>

Se ensayaron en parcelas pilotos con hasta cuatro sistemas de manejo agronómicos: Tradicional, tradicional mejorado con fertilización, tratamiento orgánico y sistema de año y vez. Cada parcela se duplicó por tratamiento. Un resumen de ello se expone en la **Tabla 2**.

Tabla 2. Parcelas experimentales usadas en Tlalpan (Méjico) en el Proyecto *REVOLSO*. La precipitación media es alrededor de 700 mm año⁻¹ (concentrada entre Mayo a Octubre), la altitud: 2600 m s.n.m. y la pendiente del 3-5%.

Parcela	Manejo	Año de roturación	Superficie (m ²)
C	Tradicional mejorado	1989	1630
D	Orgánico	1989	2020
E	Tradicional	1989	1340
R1	Tradicional	2002	580
R2	Orgánico	2002	760

¿QUE ES UN *TEPETATE*?

En lengua vernácula se denomina *tepetate* cualquier suelo volcánico endurecido en superficie (SVE); pero en términos científico-técnicos se considera *tepetate* cualquier suelo de origen volcánico con un horizonte endurecido en el perfil edáfico (HVE).

Las denominaciones varían según el país andino; así a lo que se llama en Méjico *tepetates* (*cama de piedra* en nahuatl), en Nicaragua se llama *talpetates* (2500 km²), en Colombia (14000 km²) y Ecuador (3000 km²) *cangahuas* y en Chile (4750 km²) generalmente *trumão* (aunque también, algunas veces, *tosca* o *ñadis*). Por tanto, en todos estos países se encuentran con relativa facilidad tanto SVE como HVE, además de Costa Rica y Perú, donde a veces se llaman *sillares* (10000 km²).

En resumen, los suelos volcánicos cubren un cuarto de la superficie de los países andinos, además de una gran extensión de Méjico Central y de los países centroamericanos, pero en todos ellos la aparición de capas o suelos endurecidos es, por desgracia, frecuente.

Así, los lugares de tepetates conforman un paisaje erosionado típico; sin eliminar causas geomorfológicas (barrancas de arroyos o ríos), en general las superficies planas e inclinadas se deben en su mayoría a erosiones antropozoógenas. La erosión suele desatarse la agricultura mal gestionada, pero la continúa la ganadería posteriormente cuando se abandonan los cultivos por la excesiva carga ganadera para la mala vegetación.

El comienzo de la erosión antrópica que se observa en los países andinos es ya muy antigua. En el altiplano Central de Méjico el Dr. Heine dató arqueológicamente en 1976 la erosión producida a partir de los sedimentos generados y los asentamientos prehispanos, observándose que existe alta relación directa entre éstos y la erosión observada actualmente.

Factores formadores de los tepetates.- Por suerte, no todos los suelos volcánicos derivan en SVE; para ello deben reunirse una serie de factores decisivos para la aparición de tepetates:

- Material volcánico de origen eólico, menos frecuente coluvial: Tobas y materiales similares

- Clima con dos estaciones marcadas: Seis meses lluviosos y otro seis secos.
- Situación de pie de monte (aunque no siempre es necesario).

Estas condiciones se dan frecuentemente en el altiplano Central de Méjico, ofreciéndose en la **Tabla 3**, a modo de ejemplo, la situación de Estado de Tlaxcala, donde más de la mitad de su extensión se encuentra recubierto de tepetate.

Tabla 3. Presencia de SVE y HVE en el Estado de Tlaxcala y todo Méjico (según Werner 1988 y Zebrowski 1992).

Area total	Area total km ²	SVE +HVE km ²	Area %	SVE km ²	Area %
Méjico	1.969.300	30.700	1,5		
Tlaxcala	4.027	2.175	54,0	598	15

Los agentes cementantes pueden varios y actúan sobre matriz de poros muy finos (que caracteriza las tobas) soldándolos y causando así la dureza; se han citado en la bibliografía: sílice (SiO₂), carbonatos, arcillas y sesquióxidos de Al y Fe.

Clasificación de suelos volcánicos endurecidos.- El problema de los SVE es su difícil clasificación, pues no se encuadran bien en los criterios del sistema *Soil Taxonomy*; algunas veces asemejan a duripanes.

Por fortuna, se pueden encuadrar más fácilmente en la reciente clasificación *FAO/WRB* (2006); así los tepetates de Tlaxcala se pueden considerar "*Durisoles lúvicos endopétricos*". Pero la localización del endurecimiento (superficial o profunda) o la fuerza del endurecimiento (fragipán o duripán) son importantes a la hora de clasificarlos. El material que más frecuentemente cementa los horizontes suele ser sílice, de origen bien edafológico y/o geológico, evidenciándose una neta costra silícea en los duripanes (SVE).

Definición.- ¿Qué son, pues, los tepetates, talpetates o cangahuas? La respuesta sería (actualmente): "Sedimentos geológicos derivados de cenizas volcánicas (ricos en arena fina, limo y microporosidad) y/o, bien, subhorizontes edáficos que aparecen en la superficie (generalmente por erosión antrópica) y posteriormente se endurecen, más o menos rápidamente, debido las características ambientales (climas subtropicales o tropicales con dos estaciones bien marcadas; facilidad de lavado y precipitación de sílice u óxidos)". Gran parte de los tepetates datados tienen menos de 20,000 años.

Propiedades edáficas y aprovechamiento agroganadero.- La consecuencia de la aparición de esa superficie dura (ya sean fragipán o duripán) es que no son aprovechables para la agricultura o silvicultura.

Los problemas de los SVE se derivan de: a) Una escasa vegetación; b) el impedimento del enraizamiento por la dureza; c) la impermeabilidad hídrica por la misma razón o por la escasez de poros gruesos; d) la alta velocidad de erosión por la abundancia de agua de escorrentía; e) los muy bajos contenidos de C orgánico en el suelo (COS) así como N total (Nt); y, por esto mismo, f) la escasa biomasa microbiana.

Por tanto, su fertilidad viene condicionada en último extremo por los problemas físicos de los SVE: a) Horizonte(s) endurecido(s); b) resistencia a la penetración por raíces; c) poros sellados ($> 10 \mu\text{m}$ por sílice); d) relativamente alta densidad aparente (alrededor de 1.4 g cm^{-3} , aunque a veces puede ser más baja por su composición mineralógica); y e) baja capacidad de retención hídrica.

REHABILITACION DE LOS TEPETATES

Pero, así y todo, es posible su rehabilitación.

En las parcelas experimentales de Méjico se ha puesto en evidencia que, tras un par de años de una nueva gestión de las tierras, los tepetates se vuelven productivos.

Metodología.- En primer lugar la dureza superficial (o subsuperficial) de los tepetates es destruida por *bulldozers*, provisto de un *ripper* tridentado, a la vez que se aprovecha esa misma acción para nivelar y eliminar las cárcavas y surcos generados previamente por la erosión, procurando que las posibles aguas que evacuen las tierras no produzcan nuevas y posteriores erosiones.

Pero eso no es todo; para que un paisaje totalmente destruido por la erosión se convierta en una tierra productiva no sólo basta con romper la capa endurecida mediante medios mecánicos o animales, si no que hay que mejorar ya de inmediato, desde el primer año, la fertilidad edáfica. Para ello se puede buscar varias vías; bien recurriendo a los clásicos fertilizantes inorgánicos (entre 80 a 100 kg ha^{-1} de N y de 20 a 25 kg P ha^{-1}), aunque de manera hábil y moderada (para evitar costes) y, además, también revertiendo parte de los residuos orgánicos generados al suelo.

Otra vía, porque se disponga fácilmente de residuos orgánicos (estiércol o composta), es adicionar éstos en cantidades iniciales de 20 Mg ha^{-1} (incluso más) siempre que sean de calidad contrastada (relación C/N inferior a 30) y coste barato. Las adiciones posteriores de residuos orgánicos pueden reducirse (v.g.: a 5 Mg ha^{-1}) si la producción no mostrara carencias. .

En todo caso, son fundamentales las rotaciones con leguminosas, con lo cual se asegura que tempranamente el suelo se enriquezca tanto de COS, como de Nt (**Figura 1**).

También se recomiendan otras acciones complementarias, tales como inoculación de las semillas con microorganismos o del suelo con micorrizas o bacterias fijadoras de N, aunque bien es verdad la adición de estiércoles de buena calidad ya producen estos efectos como acciones colaterales.

Además, si los suelos son inicialmente ácidos, hay que neutralizarlos con adiciones de caliza (v. g.: 5 Mg ha^{-1} de producto calizo bruto inicialmente) o materiales calizos de bajo coste; téngase en cuenta que el efecto de la caliza, como el orgánico, desaparece con los años de manera bastante rápida, por lo que hay que efectuar sucesivos encalados, aunque ya no tan intensos.

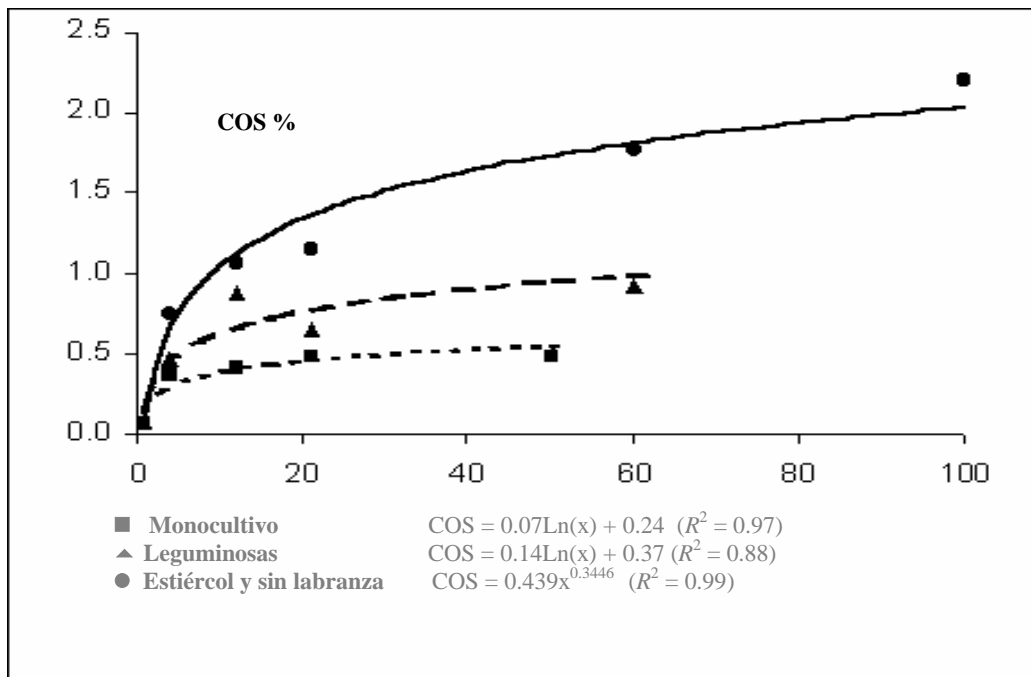


Figura 1. Efectos de los distintos manejos sobre el contenido de COS en SVE rehabilitados. Obsérvese la ventaja de abonar con estiércol, pero también (aún más) la del empleo de rotaciones con leguminosas (parcelas de Tlalpan, Méjico).

Efectos del manejo mejorado y/u orgánico.- Si se considera el contenido de COS un buen índice de calidad de los suelos, en referencia a su calidad, se puede observar la evolución del COS con los años en las parcelas rehabilitadas y la eficiencia de los diferentes manejos (**Figura 2**). Se observa de inmediato que los manejos orgánico y tradicional mejorado son los que más positivo impacto tiene sobre el suelo.

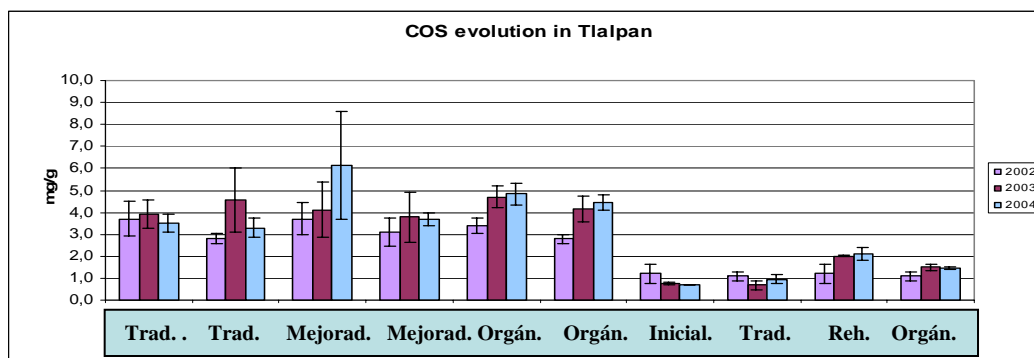


Figura 2. Evolución temporal del COS en Tlalpan (Méjico) según diferentes manejos agronómicos. A la izquierda son antiguas parcelas roturadas hace tres lustros (parcelas duplicadas); a la derecha son parcelas roturadas recientemente (tan sólo los tres años indicados).

Los efectos del buen manejo: a) sobre las características físicas de los tepetates rehabilitados fueron el incremento del agua útil, la porosidad y la estabilidad de agregados; b) sobre las características fisicoquímicas fue la bajada del pH edáfica y pérdida de Na y del excesivo Mg inicial, lo cual hay que tener en cuenta para corregirlo mediante posterior encalado; y c) sobre

las características bioquímicas y biológicas fueron el aumento neto de los contenidos de COS, N_T y P asimilable.

Consecuencias sobre la fertilidad.- En suma, la fertilidad edáfica; evidenció el establecimiento de la dinámica del N (con las del C y S) con un incremento evidente de la población microbiana. Las producciones ya en los primeros años de cultivo fueron de hasta de 6 Mg ha^{-1} de trigo o cebada con altas adicciones orgánicas y fosforadas; pero también se pueden alcanzar fácilmente entre 2 a 4 Mg ha^{-1} de maíz, haba, trigo o cebada con fertilizaciones moderadas.

Los residuos logrados (a compostar en todo o parte) para la siguientes cosechas (o bien utilizarlos simplemente como "*mulching*", esto es, esparcir los rastrojos sobre el terreno, sin mezclarlos durante la época seca) fueron aproximadamente del orden de 3 Mg ha^{-1} en las siembras de maíz+haba, 2 Mg ha^{-1} en la de habas y de 1 Mg ha^{-1} en el caso de la cebada.

Erosión.- Por tanto, el manejo de los residuos de cosechas u compostas es fundamental porque tienen fuerte consecuencias sobre la estructura edáfica (como se nota en la disminución de la densidad aparente), disminuyendo la erodabilidad de las tierras. Si no se opta por el manejo orgánico es muy recomendable cubrir al menos el 40 % de la superficie de la parcela con rastrojos (*mulching*). Las consecuencias del cultivo de los tepetates rehabilitados son inmediatamente evidentes, como se observa en la **Figura 3**.

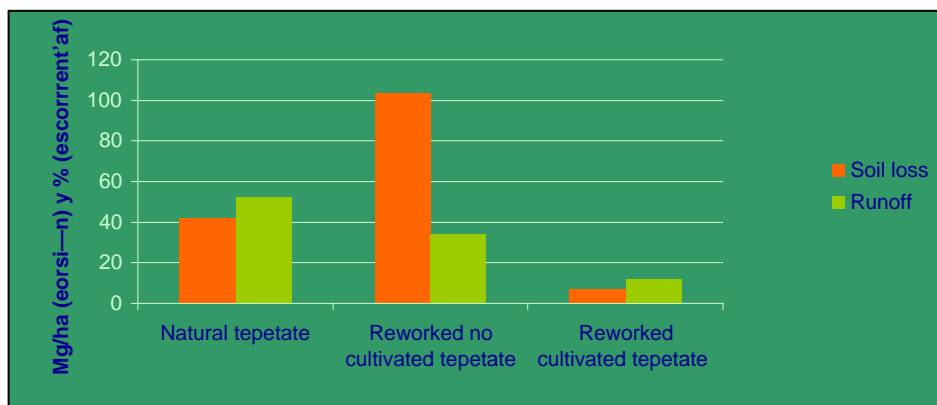


Figura 3. Medidas de escorrentía en tepetates (*natural*) y tepetates roturados (*reworked*) tras su rehabilitación (*Soil loss*: Pérdidas de suelo; *Runoff*: Agua de escorrentía). Obsérvese la diferencia entre los tepetates roturados pero no cultivados y los cultivados adecuadamente.

Captura de C.- La captura de C es alta durante los primeros años, sobre todo con el manejo orgánico, pudieron superarse los $0.5 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$; posteriormente, con los años se modera a la mitad ese ritmo.

Un tepetate ya rehabilitado y tras una quincena de años de buen manejo puede hacer capturado 5 Mg C ha^{-1} , lo cual hay que tener muy en cuenta dada la enorme superficie que ocupan los tepetates, talpetates, congahuas, sillares o trumaos andinos.

ASPECTOS SOCIOECONOMICOS

- ¿Era el único objetivo del *REVOLSO* rehabilitar tepetates?
- ¿Cuál es el problema real de fondo?

Las densidades de población y cantidad de tierra arable (ha) son divergentes en grandes extensiones de las tierras iberoamericanas. Por ejemplo, en el Estado de Tlaxcala (Méjico) mientras que la población se duplicó, la tierra agrícola útil se ha visto reducida. Ello significa que existe una mayor presión social por tierras agrícolas. Por tanto, es importante enseñar a los campesinos no sólo a cultivar la tierra, si no que a ser más eficaz frente a su degradación, en especial en lo referente a la erosión.

Pero la única manera de lograr eso es, no sólo aumentar el grado de formación técnica del campesino, como también internalizar las nuevas técnicas dentro de su sociedad: Y eso sólo es posible lograrlo de manera irreversible a través de las mujeres.

También el proyecto *REVOLSO* dedicó esfuerzos en realizar talleres, tanto para hombres como para mujeres, transmitiendo el mensaje de la importancia de la instrucción y el aprendizaje de nuevas técnicas para el bienestar de su sociedad; no viéndolo como una amenaza para la supervivencia del grupo si no que, al contrario, una herramienta eficaz para lograr que un mayor nivel de vida anule algunos factores limitantes del desarrollo del grupo social.

Finalmente, para la decisión de la aplicación de lo ya experimentado y anteriormente expuesto suelen faltar en los países andinos y mesoamericanos medios económicos, visión social y voluntad política. Pero, al existir ya la técnica adecuada, la rehabilitación de los tepetates es ahora, más que un problema científico o técnico, pura decisión política.

CONCLUSIONES

Las principales conclusiones tras las experiencias logradas con las parcelas pilotos de demostración del *REVOLSO* fueron que:

- Se produjeron efectos positivos con la rehabilitación de los tepetates.
- Se incrementó la productividad de las parcelas con los manejos mejorados y orgánico.
- Se incrementó el contenido de COS y N de los suelos (aumentó la fertilidad).
- Se incrementó de la producción de alimentos.
- Se incrementó la dieta de los propietarios.
- Se recuperaron tierras completamente degradadas.
- Se redujo y controló la erosión edáfica.
- Se capturó C excedentario de la atmósfera.
- Se disminuyó la presión social por tierras agrícolas

Por tanto, merece la pena **RE**habilitar los suelos **VOL**cánico**S** deteriorad**Os** (**REVOLSO**) en aquellas áreas volcánicas agrarias degradadas donde la presión social por alimentos es alta. La técnica existe, pero muchas veces lo que falta es nivel técnico-cultural, medios económicos y, sobre todo, voluntad política.