

# Rehabilitación de suelos volcánicos degradados de Chile y México: presentación de resultados de un proyecto (REVOLSO, programa europeo inco-v fp) internacional e interdisciplinario

<sup>1</sup>G. Werner, <sup>2</sup>M. Bravo, <sup>3</sup>J. Espino, <sup>4</sup>J.D. Etchevers, <sup>5</sup>G. Flores, <sup>6</sup>J.F. Gallardo, <sup>7</sup>M.I. González, <sup>8</sup>C. Hidalgo, <sup>9</sup>M. Petri, <sup>10</sup>C. Prat, <sup>11</sup>I. Vidal, <sup>12</sup>E. Zapata, <sup>13</sup>L. Alonso, <sup>14</sup>A. Báez, <sup>15</sup>S. Covalada, <sup>16</sup>M. Ginanni, <sup>17</sup>M. González, <sup>18</sup>B.M. Gutiérrez, <sup>19</sup>M. Haulon, <sup>20</sup>L. Medina, <sup>21</sup>J. Padilla, <sup>22</sup>M.L. Padilla, <sup>23</sup>S. Pajares, <sup>24</sup>R. Risalti y <sup>25</sup>A. Vera.

<sup>1</sup> CIDER, Giessen Universität (Alemania); <sup>2</sup> C.I.R.P.A.C./INIFAP (Uruapan, México); <sup>3</sup> Universidad de Chapingo (Texcoco, México); <sup>4</sup> Colegio de Postgraduados de Montecillo (Texcoco, México); <sup>5</sup> Universidad de Tlaxcala (México);

<sup>6</sup> C.S.I.C. (Salamanca, España); <sup>7</sup> Universidad de Salamanca (España); <sup>8</sup> C.I.R.A.A., Università di Pisa (Italia);

<sup>9</sup> I.R.D. (Francia); y <sup>10</sup> Universidad de Concepción (Chillán, Chile).

E-mails: <Gerd.H.Werner@gmx.de> y <jgallard@usal.es>.

## Resumen

El Proyecto REVOLSO (“*Alternative Agriculture for a Sustainable REhabilitation of Deteriorated VOLcanic SOils in Mexico and Chile*”), perteneciente al Programa INCO de la Unión Europea, tuvo como **objetivo** la rehabilitación de suelos degradados de Chile y Méjico. Se conformó en torno a cinco organismos iberoamericanos y cuatro europeos, iniciándose en Enero de 2002 y finalizando en Julio de 2006. Se mantuvieron parcelas de experimentación en los Estados de Michoacán y Tlaxcala (México) y en Chillán (Chile). El punto de partida se basó en el hecho de que gran parte de la degradación de suelos en las zonas estudiadas es motivada por la excesiva presión sobre los recursos que produce la agricultura de subsistencia, incrementando a su vez la pobreza. Romper ese círculo vicioso implica evitar la continua degradación de los suelos mediante su recuperación, aplicando nuevos conocimientos y manejos alternativos. El objetivo último del Proyecto REVOLSO fue ofrecer un paquete tecnológico de manejo agrícola adaptado a las circunstancias socioeconómicas de los campesinos de ambos países que, además de detener los procesos erosivos, incrementara la capacidad productiva de las tierras.

**Palabras clave:** Erosión de suelos, Tepetates, Fertilidad edáfica, C orgánico del suelo.

## Introducción

Los suelos derivados de materiales volcánicos ocupan alrededor del 25 % del área de los países andinos de Sudamérica (Chile, Ecuador, Colombia, Centroamérica y México; Zebrowski, 1992). Suelen ser suelos fértiles, por lo que se han venido cultivando en preferencia, no obstante, en algunos casos se utilizan manejos contraproducentes. Ello ha causado erosiones severas que han conducido a la disminución de los rendimientos, eutroficación y colmatación de cuerpos de agua, alentado la emigración rural, entre otros impactos que ocasionan fuertes daños económicos y sociales. El resultado final es la aparición de malpaíses o estratos de tobas endurecidas. Son frecuentes los casos donde finalmente aparecen horizontes endurecidos (llamados tepetates, talpetates, tobas, cangahuas, trumaos, duri-pán) como superficie de erosión remanentes, existiendo una relación directa entre degradación edáfica y pobreza en esas áreas rurales.

## Objetivos del proyecto revolso

En el V Programa de la Unión Europea (FP-V) la agricultura sostenible y el desarrollo tuvieron la máxima prioridad, por lo que se solicitó el Proyecto denominado «*ALTERNATIVE AGRICULTURE FOR A SUSTAINABLE REHABILITATION OF DETERIORATED VOLCANIC SOILS IN MEXICO AND CHILE*» (REVOLSO). Dicho Proyecto tuvo como **objetivo** desarrollar e implementar un paquete tecnológico de agricultura sostenible y agroforestería aplicable a los suelos degradados de Chile y México, de fácil implementación y asumible por los campesinos de áreas rurales. Una de las metas del Proyecto fue contribuir, directa e inmediatamente, al desarrollo de las comunidades rurales menos favorecidas (Werner *et al.*, 2006). También se incluyó aspectos de pérdida de biodiversidad y del estado y funciones de las mujeres campesinas. La implementación del paquete tecnológico involucra a los pequeños propietarios del medio rural, cuya participación es fundamental para la solución de sus problemas socioeconómicos, de acuerdo a las recomendaciones de la Unión Europea.

Los **objetivos específicos** del Proyecto REVOLSO estuvieron relacionados totalmente con los del FP-V:

1. Promover la rehabilitación y mejoramiento sostenible de los suelos volcánicos deteriorados de Chile y México.
2. Desarrollar un paquete tecnológico que lograra la recuperación sostenible de suelos deteriorados de Chile y México, y la conservación de suelos volcánicos aún sin deteriorar, bien a través de la agricultura o la agroforestería, previniendo la erosión edáfica.

3. Informar de los resultados obtenidos, manejos propuestos y dar recomendaciones a los productores, asociaciones e instituciones gubernamentales de las áreas de estudio, con implicación de las mujeres.

En resumen, el Proyecto pretendió contribuir al desarrollo sostenible de las economías desfavorecidas de áreas rurales de Chile y México.

## Participantes del proyecto REVOLSO

Los participantes del Consorcio REVOLSO fueron los que se incluyen como coautores; las instituciones involucradas se exponen en la tabla 1.

## Resultados a destacar del proyecto REVOLSO

Mientras que en México existían experiencias en el manejo de suelos volcánicos recién roturados (Navarro *et al.*, 1998), en Chile no se había investigado la sostenibilidad de los manejos tradicionales en los suelos volcánicos deteriorados. En ninguno de los casos habían sido optimizados aspectos como el manejo de la fertilidad de los suelos volcánicos degradados, rotaciones convenientes, mantenimiento de la estructura edáfica, etc.

Una de las innovaciones más importantes del Proyecto REVOLSO fue la integración de experiencias provenientes de la agricultura orgánica para lograr la mejora de la estructura y fertilidad edáfica, a través de las rotaciones y adiciones orgánicas más convenientes. Este tipo de manejo agrícola condujo, como era de esperar, a una mejora de las características físicas edáficas, incremen-

Tabla 1. Participantes del Consorcio REVOLSO

Nº	Instituciones	Acrónimos	Tareas*
1	<i>Justus-Liebig-Universität</i> de Giessen; <i>CIDER</i> , Alemania (Co-ordinación).	JLU/CIDER	1, 2, 4
2	<i>Institut de Recherche pour le Développement</i> , Francia.	IRD	1, 2, 4
3	Colegio de Postgraduados, México.	CPM	3, 5
4	Universidad Autónoma de Chapingo, México.	UACH	1, 5
5	Universidad de Concepción, Chile.	UDEC	1, 2, 3
6	Universidad Autónoma de Tlaxcala, México.	UAT	1, 2, 4
7	Campo Experimental de Uruapan, CIRPAC-INIFAP (ex-CENAPROS), México.	Ex-CENAPROS	1, 2, 4
8	Consejo Superior de Investigaciones Científicas, España.	CSIC	3
9	<i>Centro Interdipartimentale di Ricerche Agro-Ambientali "E. Avanzi"</i> , Universidad de Pisa, Italia.	CIRAA	4

Las \*tareas asignadas correspondientes a los diferentes grupos fueron: 1: Prácticas de cultivos; 2: Agroforestería; 3: Fertilidad y Ecología de Suelos; 4: Erosividad y erodibilidad; y 5: Aspectos socioeconómicos.

tando la permeabilidad y capacidad de retención hídrica de suelo (en el caso del *Acrisol*), disminuyendo el riesgo de erosión (tan importante en México), incrementando la actividad biológica edáfica y, como consecuencia, mejorando la nutrición vegetal. Consecuentemente, se logró, a medio plazo, incrementar los rendimientos. Más aún, gran parte de la experimentación realizada en ambos países se ha realizado teniendo en cuenta las producciones tradicionales de las áreas de estudio: Maíz, trigo, cebada, frijoles y avena, pero reincorporando los restos de cosechas (rastros) e implementado rotaciones de cultivo y/o agroforestería. En algún caso ello se complementó con técnicas agroforestales como la implantación de diversas clases de arbolado.

El manejo orgánico evaluado se basó en el uso eficiente de los residuos de cosecha y otros aportes orgánicos, logrando ya desde el inicio una incorporación óptima de C orgánico al suelo. La rotación y asociación de cultivos pretendió, además, complementar la dieta de los productores.

En México, las investigaciones precedentes sobre rehabilitación de suelos volcánicos degradados se habían enfocado hacia aspectos técnicos, sin integrar otros tan importantes como el sistema de cultivo tradicional del campesinado y las condiciones sociales de éste. Igualmente en Chile no se había tenido en cuenta la interrelación del agrosistema con el medio, en un planteamiento integral de desarrollo sostenible.

Estos enfoques de sostenibilidad y de impacto social son la diferencia innovadora y el valor añadido del Proyecto *REVOLSO*. Se partió del hecho de que, en gran parte, la erosión es debida al sobrepastoreo y la deforestación que las comunidades rurales dedicadas a la ganadería realizan en la búsqueda de satisfacer sus necesidades básicas (leche, proteínas, fuego). Además, los campesinos de estas áreas marginadas no subsisten únicamente por los ingresos que le proporciona una agricultura de supervivencia, pues la emigración de adultos a polos de desarrollo (nacionales o extranjeros) se considera internamente como la única solución viable. En este contexto, las

mujeres jóvenes y, también, de la tercera edad ejecutan gran parte del trabajo agrícola. Por ello, cualquier propuesta de innovación o paquete tecnológico tenía que encuadrarse dentro de esa realidad social y económica si se quería tener éxito en la rehabilitación de los suelos volcánicos degradados.

Las nuevas tecnologías de producción agrícola y de agroforestería que aspiraban a implementarse con el Proyecto *REVOLSO* deberían expandirse dentro del tejido familiar, entre los miembros de los pequeños agricultores y sus comunidades, haciéndoles partícipes en el trabajo de las parcelas experimentales con el objetivo de lograr su aceptación. Los resultados obtenidos se le mostraron tanto a los productores no partícipes, como a sus asociaciones y a las instituciones gubernamentales.

La implementación del paquete tecnológico y sus efectos a la economía familiar, con objeto de moderar la emigración, conllevó un seguimiento, en especial a lo relativo a su aceptación por el género femenino y los miembros jóvenes de las comunidades (Zapata *et al.*, 2006).

En términos generales, la aproximación científica basada en las parcelas de experimentación en contacto con los pequeños propietarios fue apropiada y novedosa. Además de envolver directamente a los productores dueños de las parcelas, permitieron discutir, bajo una óptica más realista que los estudios precedentes, los resultados obtenidos respecto a la erosividad de la lluvia, erodibilidad, fertilidad y productividad de suelos sensibles a la erosión, como son los volcánicos.

La interpretación de los datos obtenidos mostró, por ejemplo, que en las áreas estudiadas de México:

1. Los rendimientos de la agricultura orgánica pueden alcanzar los de los manejos

tradicionales, incluso superarlos en el caso de tepetates recién roturados.

2. El manejo orgánico permite disminuir significativamente las tasas de erosión; *v. g.*, en un *Acrisol* de Michoacán (derivado de pretéritas cenizas volcánicas) la agricultura orgánica logró un descenso de pérdidas de suelos desde 1,36 a 1,03 Mg ha<sup>-1</sup> (Medina *et al.*, 2006). En tepetates recién rehabilitados de Tlaxcala la pérdida de suelos fue, en promedio, de 4,7 Mg ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> inferior bajo manejo orgánico que bajo el tradicional (Haulon *et al.*, 2006).
3. Los nuevos sitios roturados (antiguos tepetates endurecidos) son más susceptibles a la erosión que los antiguos sitios ya labrados, con pérdidas promedio de suelos de 12.3 y 3.4 Mg ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>, respectivamente. En tepetates cultivados durante más de 10 años el manejo no tuvo efecto sobre la pérdida de suelos.
4. El escurrimiento y las pérdidas edáficas se relacionan significativamente con la cobertura vegetal y el contenido de C orgánico del suelo.
5. Además, se observó una disminución significativa del pH (de 7.5 a 6.3) y ciertas pérdidas de bases de cambio (Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup> y Mg<sup>2+</sup>). Por el contrario, se produjo un incremento significativo del P asimilable (Olsen), desde trazas a 4 mg P kg<sup>-1</sup> con tras sólo un par de años de ponerse en cultivo (Pajares *et al.*, 2006).
6. La práctica del encalado en *Acrisoles* cultivados (Atécuaro) dio resultados positivos, aunque temporales. El tratamiento orgánico destacó sobre los demás en la significativa mayor acumulación de C y N edáficos (Covaleda *et al.*, 2006).

7. La adición de residuos de cultivos y otros materiales orgánicos (estiércoles y compostas) ocasionó un sensible mejoramiento de las propiedades fisicoquímicas y bioquímicas relacionadas con la calidad de los substratos derivados de antiguos tepetates y un incremento en la captura de C (Etchevers *et al.*, 2006).
8. Las mujeres y niños que reemplazan a los hombres en algunas labores agrícolas (por las emigraciones masculinas) de las áreas desfavorecidas deben concienciarse, tras comprobar los resultados, de que los manejos propuestos son mejores que los tradicionales para lograr su implementación a perpetuidad.

## Producción científica y académica

El Proyecto REVOLSO produjo más de 260 publicaciones y artículos de revistas científicas, la implicación de 31 estudiantes de postgrado, la graduación de 22 Maestros en Ciencias y la defensa de 9 Tesis doctorales.

## Conclusión

Los problemas ligados a la severa erosión, especialmente observada en algunas áreas de suelos volcánicos, son básicamente de tipo socioeconómico, dado que su origen es fundamentalmente antrópico. Los proyectos científicos pueden dar sólo soluciones técnicas viables, pero su implementación y extensión al entorno se escapa de sus posibilidades y atribuciones, por estar condicionada a la realidad socioeconómica y política. Las sociedades rurales, por tanto, con la base en el paquete tecnológico aportado por el Proyecto REVOLSO, deberán posteriormente encontrar por sí mismas urgente-

mente soluciones definitivas en consonancia con las autoridades políticas (locales, municipales, provinciales, estatales o federales de Chile y México), pues la rehabilitación y conservación de los suelos debe ser una prioridad nacional, considerando que el suelo es un compartimento de los ecosistemas del cual depende la supervivencia humana.

## Agradecimientos

Los autores agradecen a la Unión Europea la financiación de esta investigación a través del Proyecto REVOLSO (Programa INCO, Ref. ICA4-CT-2001-10052), así como al Ministerio de Educación y Ciencia español, entre otras entidades colaboradoras.

## Referencias

- COVALEDA, S., S. PAJARES, J. BF GALLARDO, J. D. ETCHEVERS, M.I. GONZÁLEZ. 2006. «Influencia de cuatro técnicas agrícolas sobre la fertilidad de un *Acrisol* cultivado ubicado en el Eje Neovolcánico Mexicano». *IV<sup>th</sup> Internacional Symposium on Deteriorated Volcanic Soils*. Disco compacto. Universidad Michoacana, Morelia (México).
- ETCHEVERS, J. D., A. BÁEZ, C. PRAT, C. HIDALGO. 2006. «Distribución de C en fragmentos y agregados de materiales volcánicos endurecidos habilitados para la agricultura». En: *Medioambiente en Iberoamérica. Visión de la física y la química en los albores del siglo XXI*. Gallardo, J. F. (ed.). SiFyQA, Badajoz, pp: 477-485.
- HAULON, M., G. FLORES, A. VERA, G. WERNER. 2006. «Efecto del manejo y de la edad de rehabilitación sobre la erodibilidad y la estructura de los Tepetates habili-

- tados a la agricultura en Tlaxcala». *IV<sup>th</sup> International Symposium on Deteriorated Volcanic Soils*. Disco compacto. Universidad Michoacana, Morelia (México).
- MEDINA, L. E., M. BRAVO, CH. PRAT, B. SERRATO. 2006. «Soil losses in experimental plots in Andosols and Acrisols in the Cointzio Basin, Michoacán». *IV<sup>th</sup> International Symposium on Deteriorated Volcanic Soils*. Disco compacto. Universidad Michoacana, Morelia (México).
- NAVARRO, G. H., H. POUPON, M. A. PÉREZ. 1998. *Aptitud productiva en suelos volcánicos endurecidos (tepetates)*. ORSTOM. Colegio de Postgraduados de Montecillo, Texcoco (México), 180 pp.
- PAJARES, S., S. COVALEDA, J. F. GALLARDO, J. PADILLA, J. D. ETCHEVERS. 2006. «Cambio de propiedades físico-químicas y químicas de los tepetates producidos a corto y mediano plazo por el cultivo». *IV<sup>th</sup> International Symposium on Deteriorated Volcanic Soils*. Disco compacto. Universidad Michoacana, Morelia (México).
- WERNER, G. *et al.*, 2006. «Soil Conservation in Agricultural Volcanic Ash Soils in Mexico and Chile. Presentation of the research project REVOLSO of the European Union». En: *Soil and Water Conservation under Changing Land Use*. Martínez, J. A., I. Plà, M. C. Ramos y J. C. Balasch (eds.). Universitat de Lleida (España), pp: 313-316.
- ZAPATA, E., B. M. GUTIÉRREZ, A. FLORES. 2006. *A walk through the tepetates. The Vision of Women in the Municipal Area of Hueyotlipan (Mexico)*. Colegio de Postgraduados de Montecillo y REVOLSO, Texcoco (México), 313 pp.