

Los costos de rehabilitación de los suelos volcánicos endurecidos

Claude ZEBROWSKI, Benjamín SÁNCHEZ

Abstract

Reclamation and conservation methods for agriculture and reforestation in indurated and eroded volcanic soils are reported. Mechanized methods used especially in Mexico, have lower costs than manual methods still practised in Ecuador. In that country, the realization of progressive development terraces has lower costs than flat terraces built simultaneously to the sub-soiling.

Some reforestation methods used in Mexico have a cost similar to those of reforestation in non indurated soils of Ecuador.

Keywords: Ecuador - Mexico - Tepetate - Cangahua - Reclamation Costs

INTRODUCCIÓN

La rehabilitación de los suelos volcánicos erosionados y endurecidos, conocidos con el nombre de tepetate en México y cangahua o cancahua en el Ecuador, es una práctica común en los dos países, en zonas de fuerte densidad poblacional.

La incorporación de estas formaciones a la agricultura se ha realizado de manera tradicional, una vez roturado manualmente el horizonte endurecido, aproximadamente hasta los años 1970. A fines de la década de los 1960, se introdujeron los métodos mecanizados, que se extendieron rápidamente en México, y muy poco en el Ecuador, donde los métodos tradicionales siguen vigentes. Es igualmente a partir de ese período cuando surgen algunos programas de reforestación de las zonas erosionadas y endurecidas.

Algunos autores han tratado de calcular los costos de rehabilitación de estas formaciones. En México, Sánchez (1992) expuso los costos de reforestación, mientras Calva Orduño (1992) presentaba los costos de roturación mecanizada del tepetate. Navarro y Zebrowski (1994) hicieron una primera síntesis comparativa, entre el Ecuador y México, de los costos de rehabilitación de estas tierras.

Este artículo tiene por objeto recordar brevemente los diferentes métodos utilizados hoy en día en los dos países, y proporcionar, en el caso de cada método, los costos actualizados de rehabilitación, tanto para la incorporación a la agricultura como para la reforestación.

LA INCORPORACIÓN A LA AGRICULTURA DE LOS SUELOS EROSIONADOS Y ENDURECIDOS

La incorporación a la agricultura implica la roturación del horizonte endurecido hasta la obtención de agregados lo suficientemente pequeños como para permitir una

buena germinación de las plantas, así como la suplencia de carencias químicas, actualmente muy conocidas, mediante el aporte de fósforo y nitrógeno. Sin embargo, es necesario proteger los suelos así incorporados a la agricultura, por lo que se deben tomar además medidas anti-erosivas.

La roturación de los horizontes endurecidos

La roturación mediante explosivos ya no se realiza actualmente, pues es delicada y costosa. Solo se utilizan métodos manuales y mecanizados.

Métodos manuales

Estos métodos han sido prácticamente abandonados en México; en el Ecuador todavía son utilizados de manera general por los campesinos de escasos recursos económicos.

La roturación se practica durante la estación lluviosa, período en el cual la cangahua, húmeda, es más fácil de trabajar. Se rompe la cangahua con la ayuda de un pico, a una profundidad de 20 a 30 cm. El campesino deja luego «podrir» los bloques de cangahua por algunos meses, agrega generalmente pequeñas cantidades de abono proveniente de su ganado, y lo mezcla con el suelo, rompiendo los bloques de cangahua resultantes de la roturación, antes de efectuar la siembra. Esta preparación del suelo es generalmente ruda y poco propicia para un buen crecimiento de las plantas.

Métodos mecanizados

Estos métodos son de uso común en México, pero en el Ecuador solo son empleados por algunos agricultores. Sin embargo, han sido aplicados en el marco de algunos proyectos gubernamentales de incorporación de la cangahua a la agricultura entre los años 1970 y 1975, y están siendo nuevamente empleados en el marco de un proyecto realizado por la Central Ecuatoriana de Servicios Agrícolas (CESA) para la incorporación a la agricultura de 600 ha de cangahua.

La roturación es realizada por subsoleo cruzado mediante un buldózer. La potencia de este último debe ser suficiente como para que el trabajo sea efectivo. Sánchez (1992) recomienda una potencia equivalente a la de los Caterpillar de tipo D4 a D8. Sin embargo, el D4 es un tanto débil para los suelos de gran dureza y no puede trabajar en pendientes superiores al 30 por ciento. Así, en México, Maquinaria para las Tierras del Estado de Tlaxcala (MATET) utiliza sobre todo modelos D5 y D7, y en el Ecuador, los trabajos actualmente en curso se realizan con buldózers de potencia por lo menos igual a la del D6, generalmente equivalentes al D7 o D8.

La longitud de los dientes es de 80 cm, lo que conduce a una profundidad efectiva de subsoleo de 40 a 50 cm. Aunque es más fácil realizar el subsoleo en estado húmedo, la fracturación de los horizontes endurecidos es más completa en estado seco.

Los bloques resultantes del subsoleo son pulverizados aplicando varias veces un pulverizador de discos. El tamaño óptimo final de los agregados es en sí difícil de definir. Debe ser tal que la retención de agua sea máxima y la erosión mínima. Martínez y García (1990) mostraron que un tamaño promedio de agregados de tepetate de 3 a 4 mm, garantiza una buena capacidad de retención de agua, una estabilidad estructural máxima y una erodabilidad mínima. Sin embargo, Leroux y Janeau (1996) recomiendan un tamaño mayor de agregados, ya que estos se desintegran con el tiempo. Jérôme (1992) observó en efecto una fundición progresiva de los agregados de 4 mm o menos, que propicia el endurecimiento superficial, la escorrentía y la erosión. Custode *et al.* (1992) señalan

algunas pérdidas de tierra que alcanzan hasta 92 t/ha en parcelas de cangahua subsoleadas y desintegradas, con una pendiente del 20 por ciento. Es necesario entonces tomar medidas anti-erosivas.

Medidas anti-erosivas

Los métodos de conservación utilizados consisten en terrazas planas o de formación lenta, las mismas que están difundidas de diferente manera en el Ecuador y en México.

Hasta hace poco, las medidas anti-erosivas eran poco comunes en el Ecuador. No eran practicadas por los campesinos, ni aun por los pocos programas oficiales de rehabilitación de cangahua. Fueron difundidas durante los años 1980 en el marco de algunos programas de conservación, sobre todo el Programa Nacional de Conservación de Suelos (PRONACOS), el Proyecto de Manejo y Uso Sostenible de Tierras Andinas (PROMUSTA) y el Proyecto de Conservación de Suelos y Sistemas Agro-silvo-pastorales (PROCOSA). Las terrazas son por lo general realizadas manualmente y los bloques de cangahua extraídos durante el proceso se colocan en forma de muro de contención de la terraza.

Algunas pruebas de terrazas de formación lenta fueron realizadas por el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), y posteriormente en el marco del proyecto ORSTOM-CEE de rehabilitación de los suelos volcánicos endurecidos. Esta técnica es interesante (De Noni *et al.*, 1992, 1996) en lo que se refiere a la protección de la cangahua incorporada a la agricultura. Es menos costosa que la construcción de terrazas planas. La CESA emplea actualmente este método en su programa de rehabilitación de zonas erosionadas. Los bloques de cangahua sacados a la superficie en el momento del subsoleo son dispuestos en forma de muretes («pircas») que retienen la tierra, la misma que al acumularse con el tiempo forma terrazas.

En México, las terrazas son planas y se realizan en el momento del subsoleo. Se acostumbra limitarlas con bordes de tierra levantados con la lámina de un buldózer. Debido al elevado costo de su realización, las terrazas se utilizan por lo general únicamente en el marco de programas en los que alguna institución oficial —como MATET o el Plan del lago de Texcoco (CLT)— es el maestro de obras. El campesino que financia íntegramente la roturación de su parcela de tepetate, se contenta generalmente con efectuar un subsoleo y edificar un borde de tierra en su base, como único medio de protección contra la erosión.

Mejoramiento de las propiedades químicas

Creación de una reserva de materia orgánica

La desintegración de las partículas de tierra conlleva con el tiempo una compactación y por lo tanto una disminución de la porosidad y de la retención de agua creadas artificialmente por el subsoleo. Solo la creación de una estructura mediante aporte de materia orgánica permite evitar estos problemas. El aporte de elevadas dosis de materia orgánica en forma de abono es generalmente incompatible con la realidad del mundo campesino latinoamericano. El abono orgánico, disponible en cantidades reducidas, es costoso y su aplicación se realiza en dosis muy limitadas. Tanto en México como en el Ecuador, únicamente los terrenos situados cerca de los lugares de residencia se benefician de él. En cambio, algunos agricultores en el estado de Tlaxcala (México) utilizan las pajas y en algunas regiones del Ecuador el humus de lombrices. ○

Aporte de fertilizantes

Experimentos realizados en laboratorio (Etchevers *et al.*, 1992) mostraron que solo el nitrógeno y el fósforo son los factores que limitan la integración del tepetate a la agricultura. Estas carencias se confirmaron en el Ecuador (Cisneros *et al.*, 1996).

Las pruebas realizadas en el campo en México por Márquez *et al.* (1992) muestran que dosis de 60 U de fósforo y 100 U de nitrógeno son generalmente suficientes para obtener rendimientos aceptables. Los agricultores, tanto en el Ecuador como en México, no toman en consideración las propiedades de la cangahua o del tepetate y fertilizan los cultivos en estas formaciones de la misma manera que en otros suelos agrícolas. Los aportes son a menudo suficientes, a veces demasiado elevados en México y casi siempre demasiado reducidos o inexistentes en el Ecuador.

LA REFORESTACIÓN DE LOS SUELOS VOLCÁNICOS ENDURECIDOS Y EROSIONADOS

Al igual que la incorporación a la agricultura, la reforestación implica roturación del material, protección contra la erosión y aplicación de abono. Estas diferentes operaciones se realizan en cierta medida en el Ecuador y en México.

En el Ecuador, las pruebas de reforestación de cangahua fueron efectuadas por el MAG con eucalipto, el mismo que fue plantado, sin abono, en huecos cuyo volumen (20 x 20 x 20 cm) no era suficiente para garantizar un buen crecimiento de los árboles. No se instaló ninguna obra de protección contra la erosión.

En México, la reforestación de las zonas de tepetate supuso la utilización de técnicas variadas y se plantaron numerosas especies: pino, eucalipto, ciprés, fresno, etc.

La reforestación fue particularmente eficaz en ciertas zonas críticas como la cuenca de México en la cual las 5.000 ha reforestadas por el proyecto Lago de Texcoco permitieron frenar casi totalmente la erosión (Llerena y Sánchez, 1992).

No se aportaron abonos al momento de la plantación pero la aplicación de medidas anti-erosivas (rellanos en la pendiente, zanjas, terrazas) fue general.

Actualmente, Sánchez recomienda la excavación de zanjas en pendientes superiores al 15 por ciento o un subsoleo con terrazas en pendientes inferiores a ese valor.

Las zanjas

Se realizan manualmente y deben tener 40 cm de ancho por 40 cm de profundidad. La tierra removida se dispone en taludes aguas abajo de la zanja, en los cuales se plantan los árboles jóvenes, aunque es preferible volver a poner la tierra en la zanja y plantar allí los árboles.

Se efectúan dos tipos de zanjas:

- zanjas trincheras: de 5 a 7 m de largo separadas por cojinetes de tierra no trabajada de 10 cm de ancho. La densidad de plantación es de 800 árboles/ha;
- tinajas ciegas: zanjas de 5 m de largo dispuestas en tresbolillo. El espacio entre dos zanjas es de 5 m, la separación entre dos filas de zanjas es de 8 a 10 m. Se plantan 4 árboles por zanja, lo que produce una densidad de 400 plantas por hectárea.

Subsoleo y terrazas

Aunque la reforestación puede efectuarse después del subsoleo, sin terrazas (se plantan los árboles en las grietas resultantes del subsoleo), la realización de estas contribuye a que la protección contra la erosión sea más eficaz. Las terrazas, realizadas conjuntamente con el subsoleo, deben tener un ancho máximo de 4 m. Se recomienda separar

tres terrazas de absorción (terrazas planas) por una terraza contra-pendiente que sirve de canal de evacuación de las aguas. Los árboles se plantan en las terrazas de absorción, e igualmente en las terrazas-canal a razón de 1.000 árboles por hectárea.

La reforestación en terrazas es más eficaz que la realizada en zanjas. Así, según las mediciones y observaciones realizadas por SARH-CNA, proyecto Lago de Texcoco (1990), en la cuenca oriental del ex-lago de Texcoco, la supervivencia de los árboles y la cobertura vegetal han alcanzado tasas del 50 y el 60 al 100 % respectivamente en el primer caso, mientras han sido solamente del 23 % frente a un 15 a 30 % en el caso de la reforestación en zanjas.

COSTO DE LOS TRABAJOS

Los costos han sido establecidos con base en la recopilación de artículos, en encuestas efectuadas a particulares o a organismos que hayan realizado trabajos de rehabilitación de suelos endurecidos y en medidas efectuadas por nosotros mismos. Si bien, de acuerdo a los diferentes autores, los costos por hora de los trabajos son bastante similares en el Ecuador y en México, los tiempos necesarios para realizarlos varían según las fuentes. Pareció interesante presentar en un anexo todos los resultados de nuestras encuestas. Los valores que aparecen en el cuadro 1 corresponden a los costos de trabajos realizados en condiciones medias.

Trabajos	Precios en US\$ por ha (en 1996)	
	México	Ecuador
Incorporación a la agricultura		
Roturación		
		mecanizada
	360	330 a 550
		manual
		300 a 1200
Roturación + terraza plana		
		mecanizada
	1.600 a 2.100	2.100 a 2.200
		manual
		3.000 a 22.500
Subsuelo		
		330 a 550
terrazza formación lenta (p = 20 %, 4 muretes)		
		500
Total		830 a 1.050
Reforestación		
Subsuelo + terrazas	810 a 1.080	
Costo de las plantas (1.000/ha)	135 a 200	
Total	945 a 1.280	
Tinas ciegas	160 a 200	
Costo de las plantas (400/ha)	95 a 110	
Total	255 a 310	

Cuadro 1 - Costo de los trabajos

Incorporación a la agricultura

Roturación

El tiempo necesario para el subsuelo de una hectárea depende evidentemente de la dureza del horizonte, de la pendiente, del estado de la superficie de la zona (presencia de yunques, desniveles, etc.) y del tipo de bulldózer utilizado.

En pendientes inferiores al 20 por ciento, con un D7, el tiempo necesario estimado por los diferentes autores es de 5 a 10 horas. Sin embargo, un agricultor de Bolívar (Ecuador) señaló que podían requerirse 30 horas cuando era preciso nivelar los yunques.

Con un D5, el tiempo sería, según MATET (encuesta de abril de 1996), dos veces mayor. Este organismo habla de 5 a 6 horas con un D7 y de 8 a 12 horas con un D5. Considerando que los costos por hora son de 30 US\$ en el caso de un D5 y de cerca de 60 US\$ en el de un D7 (55 US\$ en el Ecuador), los costos por hectárea son casi idénticos para estos dos tipos de bulldózer. Es por ello que todos los autores recomiendan el empleo del D7, o inclusive del D8.

En condiciones medias óptimas, los costos de subsoleo varían entonces entre 330 y 550 US\$/ha, pero pueden triplicarse en condiciones difíciles. Así, calculamos un tiempo de 39 horas/ha cuando se realiza un subsoleo con un D5 de una parcela de 6.200 m² (pendiente del 10 por ciento) de tepetate que presentó algunas partes particularmente resistentes en las que, dada la insuficiente potencia del bulldózer, el maquinista tuvo que trabajar a menudo con un solo diente en lugar de los tres habituales.

Los costos de roturación manual son difíciles de evaluar ya que los tiempos necesarios para la roturación de una hectárea dependen de la dureza del material. Así, la roturación de una hectárea efectuada a pico en un proyecto realizado por CESA requirió 100 hombres durante una jornada de 8 horas (12,5 m²/hombre/hora). Considerando que el salario es de 3 US\$ por hombre y por día, el costo total de la roturación se eleva a 300 US\$/ha. Sin embargo, nuestras medidas, efectuadas probablemente en una cangahua más dura, mostraron que se necesita 4 veces más tiempo ya que un hombre trabajó únicamente 3 m² por hora. En este caso, el costo sería de 1.200 US\$/ha.

Roturación y elaboración de terrazas

El costo de las terrazas realizadas conjuntamente con el subsoleo, en una pendiente promedio del 15 por ciento fue evaluado por MATET entre 1.600 y 2.100 US\$/ha en 1992, lo que es bastante similar al costo calculado por nosotros en los trabajos realizados tanto en México como en el Ecuador (2.100 a 2.200 US\$/ha). Aunque elevado, es inferior al de las terrazas realizadas manualmente. Wendt (1996) habla en efecto de 3.000 US\$/ha y Zambrano *et al.* (1993) citan cifras que pueden alcanzar 22.500 US\$/ha.

La realización de terrazas planas en el momento del subsoleo incrementa entonces considerablemente el costo de la incorporación de los suelos volcánicos endurecidos a la agricultura. Al parecer, es preferible hacer terrazas de formación lenta. En efecto, la realización de muretes de aproximadamente 1 m de alto y 50 cm de ancho tiene un costo, según la CESA, de apenas 500 US\$/ha, tomando en cuenta que un hombre que percibe 3 US\$/día construye 3 m/día y que en una pendiente del 20 por ciento basta con un espacio de 25 m entre los muretes. El costo total del subsoleo y de la terraza de formación lenta es entonces en este caso de 830 a 1.050 US\$/ha. En pendientes más débiles, los precios son evidentemente menores.

Preparación del suelo antes de la siembra

Consiste en la aplicación de una rastra de discos con el fin de romper los bloques de cangahua resultantes del subsoleo. El costo de esta operación es mínimo en relación al de la roturación y al de la realización de la terraza. MATET estima en efecto en una hora el tiempo necesario para una hectárea y cobra por ello 9 US\$ (en 1996). Nuestras observaciones mostraron que la operación bien realizada puede durar de 2 a 3 horas lo que significa, tanto en el Ecuador como en México, entre 20 y 30 US\$/ha.

Reforestación

Según Llerena y Sánchez (1993, 1994) y Pimentel (1995), el costo de la reforestación de una hectárea de tepetate es muy diferente según el método empleado.

En el caso de terrazas realizadas con un D8 conjuntamente con el subsoleo, los costos totales son de 945 a 1.280 US\$/ha, considerando un precio de 810 a 1.080 US\$ para la preparación del suelo y de 135 a 200 US\$ para la producción y plantación de los 1.000 árboles necesarios.

Los costos de reforestación después de la elaboración de tinas ciegas es en cambio de apenas 255 a 310 US\$/ha, es decir 160 a 200 US\$ para la excavación y 95 a 110 US\$ para la producción y la plantación de 400 árboles.

Estos últimos precios son apenas superiores a los indicados por la Empresa de Desarrollo Forestal (EMDEFOR) en el Ecuador para una reforestación en suelo no endurecido. Esta empresa calcula en efecto 235 US\$/ha, de los cuales el 45 % está destinado a la mano de obra.

CONCLUSIÓN

Los costos de incorporación de los suelos volcánicos endurecidos a la agricultura son difíciles de evaluar de manera exacta. Si bien los costos en horas, básicamente idénticos en México y en el Ecuador, permiten comparar los costos totales en los dos países, la variabilidad de los tiempos de trabajo citados por los diferentes autores lleva a una dispersión en los resultados. Tal variabilidad se explica en parte por la naturaleza de las parcelas trabajadas. Una gran dureza del material y una pendiente más fuerte aumentan el tiempo de trabajo. Además, los costos promedio citados han sido calculados por hectárea. Es evidente que mientras más pequeña es la parcela, mayor es el tiempo y por lo tanto superior el costo.

Los costos de la roturación mecanizada son generalmente menos elevados que los de la roturación manual. Aunque el CESA cita cifras más o menos equivalentes o incluso superiores en el caso de la roturación mecanizada, no ha vacilado en reemplazar la operación manual por la mecanizada que es más rápida y ciertamente mucho menos costosa cuando el material es muy duro.

Así, si la roturación manual se concibe en un medio campesino de escasos recursos económicos, en el cual el agricultor no contabiliza su trabajo, los proyectos de incorporación de estas formaciones a la agricultura deben aplicar métodos de roturación mecanizada.

Las obras de conservación son necesarias para una rehabilitación duradera de estas formaciones. La realización de terrazas planas en el momento del subsoleo representa un costo menor con métodos mecanizados, de uso corriente en México, que con métodos manuales todavía utilizados en el Ecuador. Sin embargo, la realización de terrazas de formación lenta tal como se practica actualmente en el Ecuador resulta particularmente interesante. En efecto, el costo total del subsoleo y de las terrazas está comprendido entre 830 y 1.050 US\$/ha en una pendiente del 20 por ciento. En países como el Ecuador, donde las terrazas pueden ser realizadas gratuitamente durante los trabajos comunitarios («mingas»), el costo del subsoleo, de 330 a 550 US\$/ha, sería el único a tomarse en cuenta. Sin embargo, los trabajos de conservación que deben realizarse al emplear este método, implican nuevos subsoleos, al cabo de algunos años, por lo menos en la parte superior de la terraza. Queda por determinar la frecuencia de esas operaciones, ligada a la intensidad de la erosión. Finalmente, los aportes de materia orgánica en forma de abono representan una parte importante en los costos de rehabilitación de estas formaciones.

Pueden ser disminuidos si se reemplaza el abono orgánico por abonos verdes enterrados durante el primer año de cultivo, pero el campesino pierde un año de producción, lo que no siempre está dispuesto a aceptar. Las ventajas de un método en relación a otro merecerían ser estudiadas.

Los costos de la reforestación son mucho mayores cuando se realiza subsoleo y terrazas (800 a 1.066 US\$/ha) que cuando se forman zanjas para limitar la erosión. Este método, que tiene un costo de 250 a 330 US\$/ha en México, resulta apenas más costoso que la reforestación en suelo no endurecido en el Ecuador (235 US\$/ha).

Referencias bibliográficas

- CALVA ORDUÑO, D., 1992: Rescate de tierras tepetatasas erosionadas en Tlaxcala, 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. 557-560.
- CISNEROS, G.; FLOR, J.; TRUJILLO, G., 1996: Diagnóstico del contenido de elementos en dos cangahuales de la provincia de Pichincha, en este volumen.
- CUSTODE, E.; DE NONI, G.; TRUJILLO, G.; VIENNOT, M., 1992: La cangahua en el Ecuador: caracterización morfoedafológica y comportamiento frente a la erosión, 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. 332-346.
- DE NONI, G.; VIENNOT, M.; CUSTODE, E., 1996: Ruissellement et érosion sur des parcelles de *cangahua* réhabilitée (période 1994-1996), en este volumen.
- DE NONI, G.; TRUJILLO, G.; VIENNOT, M., 1992: Análisis histórico, social y económico de la cangahua en Ecuador, 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. 503-514.
- ETCHEVERS, J.; ZEBROWSKI, C.; HIDALGO, C.; QUANTIN, P., 1992: Fertilidad de los tepetates. II Situación del fósforo y del potasio en tepetates de México y Tlaxcala, 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. 385-391.
- JEROME, G., 1992: *Étude des réorganisations superficielles sous pluies naturelles sur un sol volcanique induré, le tepetate, dans la vallée du fleuve Texcoco au Mexique. Comparaison avec un sol non induré*, Mémoire de fin d'études, ISTOM, Cergy Pontoise, Francia, 119 p.
- LEROUX, Y.; JANEAU, J.L., 1996: Caracterización hidrodinámica de un suelo volcánico endurecido del Ecuador: influencia de los estados de superficie, en este volumen.
- LLERENA, A.; SÁNCHEZ, B., 1992: Recuperación de tepetates en la vertiente oriental del valle de México, 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. 302-308.
- LLERENA, A.; SÁNCHEZ, B., 1993: *Hidrologic Development of Ex-lake Texcoco Basin*, Report prepared for the IV International Conference on the Development of Arid Regions. México, D.F.
- MÁRQUEZ, A.; ZEBROWSKI, C.; NAVARRO, H., 1992: Alternativas para la recuperación de tepetates, 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. 465-473.
- MARTÍNEZ, M.; GARCÍA, R., 1990: *Naturaleza de los cementantes de algunos tepetates del valle de México*, Tesis de Licenciatura, UACH, Chapingo, México.
- NAVARRO, H.; ZEBROWSKI, C., 1994: La réhabilitation agricole des sols volcaniques indurés et érodés en Équateur et au Mexique, en *Actes du 15e Congrès Mondial de la Science du Sol, Acapulco*, Vol. 6a, p. 592-610.
- PIMENTEL, L., 1995: Técnicas de plantación forestal en suelos degradados (experiencias en la vertiente oriental de la cuenca de México), en *Memorias del IV curso sobre Desertificación y desarrollo sustentable en América Latina y el Caribe*, Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.
- SÁNCHEZ, B., 1992: Análisis de costos en la utilización de maquinaria para la recuperación de suelos volcánicos endurecidos, 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. 550-556.
- SÁNCHEZ, B.; LLERENA, A., 1994: *Evaluation Technical and Economics of Soil and Water Conservation Program in the Eastern Valley of Mexico Basin*, Report prepared for the 15th World Congress of Soil Science, Acapulco, México.
- SARH-CNA, *Proyecto Lago de Texcoco, 1990: Evaluación del Programa de reforestación del Proyecto lago de Texcoco (zona oriental)*, AGRIFEFOR, Chapingo, Montecillo, México.
- TRUJILLO, G.; ARIAS, J., 1996: Productividad en cangahua rehabilitada: ensayos agronómicos, en este volumen.
- WENDT, J. 1996: *Estudio sobre el costo beneficio de obras de conservación del suelo y manejo de laderas en unas comunidades de la provincia del Tungurahua*, PROBONA-INEFAN, Quito, Ecuador.
- ZAMBRANO, S.; MENA, V.; COELLO, T.; INSUASI, T., 1993: *Estudios de los impactos sociales, económicos, ecológicos y los problemas en la implementación de obras de conservación de suelos*, PROCOSA, Riobamba, Ecuador.

Anexo
ALGUNOS COSTOS Y TIEMPOS DE TRABAJO SEGÚN DIFERENTES AUTORES

Costos (en US\$ en 1996)

	México	Ecuador
Jornalero/día	3	3
Estiércol (tonelada)		33
Bulldózer/hora		
D5	30	
D7	60	55

Tiempo de trabajo (horas/hectárea)

ROTURACIÓN MECANIZADA

Tipo de bulldózer	Fuente			
	MATET 1996 (México)	Agricultor de Bolívar (Ecuador)	CESA (Ecuador)	Medidas propias parcela de 6.200 m ² , p = 10 % en Hueyotlipán (México)
D5	8 - 12			39
D7	5 - 6	10	6 - 10	

ROTURACIÓN + CONSTRUCCIÓN DE TERRAZAS (MECANIZACIÓN)

Tipo de bulldózer	Fuente					
	MATET (México)		Medidas propias en parcelas en			PLT ⁽²⁾ (México)
	1992	1996 ⁽¹⁾	Tlalpán (México) S = 2.000 m ² p = 5 %	Licto (Ecuador) S = 1.200 m ² p = 2 %	S = 1.400 m ² p = 18 %	
D5	45 - 60		70			
D6				48	40	
D7	30 - 35	40 - 70				
D8						20 - 22

(1): con bulldózer usado; (2): para forestación