

# REGENERACION Y CONSERVACION DE SUELOS VOLCANICOS ENDURECIDOS Y ESTERILES DE AMERICA LATINA (CHILE, ECUADOR, MEXICO)

Por P. Quantin<sup>1</sup>, C. Zebrowski<sup>2</sup> y G. Trujillo<sup>3</sup>

Este resumen presenta el programa que se llevará a cabo a partir de junio de 1994 en el Ecuador, Chile y México, en el marco de un proyecto financiado por la Unión Europea. En el Ecuador, los estudios serán realizados en colaboración con la Universidad Central (Facultad de Ciencias Agrícolas) y la Pontificia Universidad Católica (Facultad de Ciencias Sociales).

## 1. Objetivos

### 1.1. *Objetivos generales*

La reincorporación a la agricultura de los suelos volcánicos endurecidos, puestos al descubierto por la erosión, es una prioridad para los países de América Latina donde una fuerte presión demográfica tiende a causar en forma acelerada el proceso de la desertificación. Este proyecto tiene por objetivo principal la rehabilitación de los suelos volcánicos endurecidos en regiones pobres y marginadas del medio rural, donde la necesidad por tierras ha llevado a los campesinos a tener algunas experiencias de rehabilitación en los casos de los tepetates de los Valles de México y Tlaxcala en México, de la cangahua en la región de Quito (Ecuador) y de los andosoles de Valdivia en Chile. En respuesta al problema socio-agrícola mayor de las regiones de México, Ecuador, Chile y de otros países de América Latina, el proyecto se propone : aumentar la producción alimentaria, fijar a los campesinos a su tierra y proteger a los suelos.

El proyecto tiene los objetivos siguientes :

- 1 Rehabilitación de tierras productivas,
- 2 Estudio de sistemas de producciones adaptadas,
- 3 Experimentar factores biológicos en lugar de abonos minerales,
- 4 Manejos adecuados para conservar a los suelos,
- 5 Estudio pluridisciplinario (agronomía, edafología, microbiología, fertilidad, conservación de los suelos, socio-economía).

### 1.2. *Objetivos específicos*

- 1 Un estudio de impacto de métodos de regeneración de un suelo fértil a partir de un suelo endurecido y estéril : un análisis agronómico de sistemas de cultivo y de sistemas económicos familiares, una observación edáfica del mejoramiento de la relación suelo-planta, la búsqueda de una fertilización óptima, el mejoramiento de la fertilidad por factores biológicos (abonos verdes, simbioses, etc...).
- 2 El control de la erosión a la escala de la parcela agrícola y la prueba de técnicas para incrementar la infiltración y el almacenamiento del agua.
- 3 Un estudio del funcionamiento hídrico y análisis de solutos para comprender la formación de los endurecimientos y controlar los efectos de la rehabilitación de un suelo agrícola.

---

<sup>1</sup> ORSTOM, Bondy, Francia

<sup>2</sup> ORSTOM, Quito, Ecuador

<sup>3</sup> MAG, Quito, Ecuador

- 4 Un complemento de estudio sobre las propiedades y el origen de los suelos endurecidos.
- 5 Constituir una red de información y de cooperación en América Latina.

## 2. Papel de los participantes

La propuesta tiene cinco temas de estudio :

- 1 Rehabilitación de la fertilidad,
- 2 Análisis de los sistemas económicos familiares,
- 3 Erosión y conservación,
- 4 Funcionamiento hidro-dinámico,
- 5 Complemento de caracterización y cartografía.

Estos estudios se llevaran a cabo principalmente en los valles de México y de Tlaxcala, cerca de Quito en Ecuador y de Valdivia en Chile.

El ORSTOM cooperará con el Colegio de Postgraduados de Montecillo (CP) con los estudios en el valle de México, cerca de Texcoco, en equipo multidisciplinario (agronomía, edafología, socio-economía) asimismo en Ecuador en la Universidad Central de Quito (agronomía, edafología) y la Pontificia Universidad Católica (socio-economía). La Universidad de Giessen, Alemania cooperará con la Universidad de Tlaxcala (UAT) con estudios en la región de Tlaxcala (agronomía, edafología, socio-economía, química). De igual manera, habrá también una cooperación entre Tlaxcala, ORSTOM, y CPM (experimentación, metodología, formación). Finalmente, la Universidad de Giessen, Alemania con la Universidad Austral de Valdivia, Chile (agronomía, edafología, conservación). Un cuadro al final de este documento resume el papel de los participantes.

## 3. Programa de trabajo

El programa de trabajo durará 3 años : el inicio será a más tardar al 01-01-1994 y el final el 31-12-1996. Un Simposio "Suelos volcánicos endurecidos" tendrá lugar en Acapulco en 1994 al margen del Congreso Internacional de la Ciencia del Suelo (SICS). Los resultados serán analizados dentro del primer semestre de 1996, y serán posteriormente discutidos en el Taller Internacional sobre Suelos Volcánicos Endurecidos en Quito, Ecuador a mediados de 1996. Los informes técnicos de cada equipo y los reportes científicos serán entregados a finales de 1996. A continuación, se presenta el programa por país y por tema.

### A - En México

#### I -*Regeneración de la fertilidad de los tepetates*

Este es un estudio multidisciplinario asociado a las líneas científicas siguientes : agronomía, edafología, fertilidad, química, microbiología, física del suelo.

Los estudios se llevarán a cabo a través de parcelas experimentales a escala campesina, siguiendo un protocolo bien controlado. El lugar será la región de Hueyotlipan, Tlaxcala, sobre un tepetate del tipo fragipan (t3), ligeramente silicificado, donde ya se han realizado

estudios y experimentos. El tepetate será tratado según los métodos tradicionales de roturación y terraceo (subsoleo profundo, fragmentación debida al paso de discos y terrazas en pendiente con canaletas y bordes). Los experimentos de fertilización comportarán 4 tratamientos : testigo, abonos orgánicos (40 ton/ha de estiércol), abono mineral K=0, P=60, N=60 y 120 en dos dosis.

Se trata sobre todo de probar la eficiencia de un sistema de rotación de cultivos : 1. Adecuado a las necesidades de los productores : trigo (o cebada), maíz, haba, frijol ; 2. Según el orden de adaptación de los cultivos a un mejoramiento de la fertilidad en función de la duración de la regeneración del suelo ; 3. En vista de la incorporación progresiva de materia orgánica al suelo sobre todo por los abonos verdes (AV) (avena, veza durante el segundo ciclo del cultivo), en vista de desarrollar la actividad biológica del suelo. Cuatro rotaciones de cultivos serán probadas durante tres años (1993 a 1995).

	Primer Año		Segundo Año		Tercer Año	
	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)
a	Trigo	Barbecho	Trigo	Barbecho	Maíz	Frijol
b	Maíz-Frijol-Haba	Barbecho	Trigo	Barbecho	Maíz	Frijol
c	Veza	Veza (AV)	Trigo	Avena Veza (AV)	Maíz	Frijol
d	Trigo	Avena (AV)	Trigo	Avena Veza (AV)	Maíz	Frijol

(1) Período de lluvias (2) Período de sequías

Las dos primeras rotaciones son tradicionales. Las dos últimas son por innovación para incorporar abonos verdes, alargar el ciclo de cultivos, así como intensificar la fertilidad y la producción del suelo.

Los métodos de estudio serán utilizados concurrentemente :

**Seguimiento agronómico :** Análisis de los componentes del rendimiento ; evaluar la eficiencia del sistema de rotación en función de los tratamientos y del tiempo.

**Seguimiento edafológico** de los indicadores de la fertilidad potencial del suelo :

- Perfil cultural del suelo y de raíces (evaluación raíces y materiales orgánicos).
- Propiedades físicas : retención de agua, porosidad, macro-porosidad y porosidad al aire, velocidad de infiltración ;
- Evolución de los agregados : macro y micromorfología, granulometría y disminución del tamaño de los agregados del suelo.

**Seguimiento de la fertilidad del suelo :**

- Evolución de los indicadores químicos pH, N, P, K.
- Evolución de la materia orgánica : almacenamiento de carbono, la proporción de materia orgánica fresca y de materia humificada, cantidad de N y P y su dinámica.

**Seguimiento de la actividad microbiana :**

- Identificación y evaluación de la flora microbiana, sobre todo de simbiosis fijadoras de N (*Rhizobium*) e intercambios de P (Mycorizas) y de agentes humidificadores (actinomicetos, etc...).
- Medida de la actividad biológica global (O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>).
- Análisis de la biodegradación de la materia orgánica.
- Inoculación de leguminosas en *Rhizobium* y evaluación del incremento en N, P, K, en las plantas e impacto sobre el rendimiento.

Asimismo, otros estudios propuestos son los siguientes :

- Evaluación de las necesidades en nutrientes del suelo en la región México Tlaxcala (N, P, oligo elementos) en función de los tipos de tepetate y de la duración de su rehabilitación agrícola.
- Experimentación en el campo de una leguminosa arbustiva (*Einsenhardtia polystachia*), con inoculación de micorizas, como planta pionera y forrajera en los tepetates roturados.

## II -Análisis de sistemas económicos familiares de la producción agrícola

Se trata primeramente de hacer una tipología de los sistemas económicos familiares (SEF) implicados en la reincorporación agrícola de tepetates ; posteriormente, evaluar el impacto de esta operación en cada tipo de SEF. La evaluación consistirá en : determinar el porcentaje de superficie recuperada y su evaluación en el tiempo ; los medios personales, financieros, tecnológicos, apoyos exteriores ; los costos de su amortiguación ; los productos y la rentabilidad de la inversión en la empresa familiar. Esto permitirá proponer las innovaciones tecnológicas y una estrategia de desarrollo adaptada a la SEF y a la política agrícola regional.

## III - Erosión y conservación de suelos en los tepetates roturados

1. La determinación de la información en las parcelas de referencia tipo Wischmeier serán consideradas para validar los resultados de los tres años anteriores (1990-1992) en dos sitios: En San Miguel Tlaixpan (cuenca de México), un grupo de 5 parcelas en tepetates roturados comparará a un grupo de dos parcelas en suelos normales ; en Tlalpan, Tlaxcala, dos parcelas sobre tepetate roturado. El interés de los dos sitios es probar dos regímenes de lluvias de diferente erosividad.

2. El objetivo principal del estudio será la observación de los procesos erosivos a partir de pequeñas cuencas agrícolas, en condiciones cercanas al manejo del suelo realizado por los productores. Tres sitios serán considerados, dos en la cuenca de Texcoco [México y uno en Tlalpan (Tlaxcala)]. Los suelos de estos sitios ya han sido estudiados y puestos en experimentación.

### 2.1. Cuenca de Texcoco

Dos grupos de cuatro cuencas agrícolas pequeñas (0,5 has) serán instaladas, una sobre un tepetate (t3) de tipo fragipan en el primer año de roturación (San Miguel Tlaixpan), la otra sobre una brecha volcánica encostrada y calcárea dura (campo experimental Lomas de San Juan). Los tratamientos son los mismos que los experimentados en el estudio agronómico. Se comparará el impacto de 4 sistemas de rotación culturales durante 3 años :

- a : Trigo-trigo-maíz
- b : El efecto de un abono verde (AV) : veza o avena o cebada.
- b1 : Maíz /AV-Maíz /AV-Maíz /AV
- b2 : Trigo /AV-Trigo /AV-Maíz /AV
- c : Un sistema agroforestal : rotación b2 sobre terrazas y talud empastado, sembrado con árboles frutales o de una leguminosa arbolada.

### 2.2 Cuenca de Tlalpan

Un grupo de 3 mini-cuencas (0,2 ha) tendrá como meta comparar : un suelo normal no erosionado, un tepetate (t3) roturado cultivado en segundo año y en octavo año. Un tepetate (t2) roturado y cultivado será eventualmente estudiado en El Carmen.

En el caso de Texcoco como en el de Tlaxcala, se trata de medir : la lluvia (intensidad-duración-altura), el escurrimiento, la erosión, y de analizar los estados de superficie de los

productos de la erosión (agua y sedimentos arrastrados, en suspensión y disueltos). El equipo será constituido por pluviógrafo, limnógrafo, rueda de Coschocton u otro sistema partidos de agua, muestreos automático de agua y sedimentos.

Además, se observarán sobre las parcelas, los rendimientos de los cultivos y la evolución de las propiedades físicas : retención de agua, perfil hídrico, permeabilidad, densidad, textura, así como la evolución de los estados de superficie (rugosidad, costras) y su impacto sobre la infiltración. Un estudio tecnológico será realizado para investigar una técnica de roturación de los tepetates más adecuada y más económica para poder obtener el "agregado óptimo".

#### *IV-Funcionamiento hidro-dinámico de los suelos con tepetates.*

Este estudio tiene dos propósitos : primero, observar el funcionamiento hidro-dinámico de un suelo con tepetates (fragipan) así como la composición química de la solución del agua para verificar si los procesos de cementación están todavía activos ; segundo, comparar el primer caso con el funcionamiento hidro-dinámico de un tepetate (t3) roturado para evaluar el impacto de los trabajos de regeneración de un suelo y su evolución en el transcurso del tiempo.

Se estudiará la evolución del perfil hídrico del suelo durante varios períodos del año, usando un aspersor de neutrones y de gamadensitométrico así como tensiómetros. Se colectará el agua de gravedad a diferentes niveles de profundidad en el suelo para analizar sus características químicas (pH, resistividad, Al, Si, Fe, Bases, iones...).

#### *V- Complementos para caracterizar los tepetates.*

Estudios complementarios serán efectuados en Europa para conocer mejor la naturaleza y la localización de los cementos (sílice, carbonatos, arcillas...) principales responsables de la formación de los tepetates de tipo fragipan.

### **B - En Ecuador.**

Este proyecto concierne las etapas de estudio siguientes:

#### *I-Regeneración de la fertilidad de la cangahua*

Los objetivos de estudio serán realizados en parcelas experimentales en las cercanías de Quito. El lugar de estudio será la finca experimental la Tola (Tumbaco) sobre un tipo de cangahua, donde se puede disponer de la superficie indispensable, paralelamente existen en esta misma finca parcelas sobre cangahua recuperada progresivamente.

Se realizarán estudios durante 3 años para evaluar los rendimientos sobre el cultivo tradicional de la asociación maíz+fréjol, típico del pequeño campesino, en el que se pretende restituir la vegetación sin la acción del pastoreo. Una abonadura orgánica para compensar la extracción por los cultivos en nitrógeno fósforo y magnesio para una producción de 20 qq/ha (que es de 100 kg ) que sera aplicada en todas las situaciones (salvo en el testigo tradicional Att). Los tratamientos de investigación serán:

- El tipo de roturado: el uno manual tradicional que llega a una profundidad de 20 a 25 cm, el otro mecánico que alcanza los 45 cm.

- Naturaleza de los aportes: abono orgánico seco ( restos de maíz en la superficie equivalente a Ama), estiércol animal (gallinaza Afp), testigo sin abono (Asf). Paralelamente se experimentará un cultivo de vicia como abono verde en el primer año.

Los métodos de estudio serán los siguientes:

- seguimiento agronómico clásico del maíz: Análisis de los componentes del rendimiento.
- Caracterización en detalle de las parcelas. Donde se insistirá muy particularmente sobre su estructura y su evolución en el tiempo, sin perder de vista las propiedades ligadas a la fertilidad química: pH, C , Formas de Nitrógeno y fósforo.

## II - *Análisis de sistemas de cultivo sobre cangahua.*

Esta encuesta apunta a conocer la superficie de las parcelas de cangahua recuperadas manualmente por año y por familia, los espesores concernientes, la naturaleza de los abonos orgánicos y las cantidades enterradas, las técnicas culturales específicas adoptadas, el desarrollo de estas parcelas, la duración, la naturaleza de los cultivos, los costos de producción. Se insistirá sobre las diferencias observadas en cangahua recuperada y las parcelas ordinarias. Este análisis permite determinar las modalidades precisas para obtener un protocolo representativo. Esto desembocará en un diagnóstico de la recuperación manual que se podrá comparar con las pocas experiencias mecanizadas. La encuesta permitirá a su término juzgar el interés humano y económico de las formas y modalidades de recuperación.

## III - *Erosión y conservación de suelos.*

Dos Sitios: La Tola Y Cangahua con diferente pluviosidad. Sobre cada una 4 parcelas de tratamientos diferentes: 1º) 3 en pendiente natural de 20 % y una remodelada a nivel; 2º) 3 con fertilización mineral y una sin fertilización; 3º) 1 fertilizada y con riego de apoyo, las otras sin. El cultivo será maíz con surcos.

Con los métodos semicuantitativos se evaluará las pérdidas de tierra después de cada lluvia fuerte (5 a-6 por año) y se hará antes de la cosecha, en cada parcela, una evaluación del estado de superficie (número de surcos excavados, longitud de acumulación) a fin de conocer la eficacia de las diferentes coberturas vegetales frente a la conservación.

## IV - *Cartografía*

Gracias a las tomas de fotografía aérea de 1960 a escala 1: 60.000 y de 1980, se medirá el efecto de la reforma agraria sobre el límite de la cangahua en comparación con cartas pedológicas 1: 50.000 (ORSTOM-PRONAREG en 1970-1980). Se utilizará la teledetección en 2 de las 4 zonas muy características: Cajas, Canhgahua, Tumbaco-Ilaló y Norte de Riobamba. Este trabajo se desarrollará en el laboratorio de teledetección del ORSTOM en Montpellier. Esto permitirá discriminar la cangahua aflorante de la discontinua o a poca profundidad.