

Enregistrement scientifique n°: 2547

Symposium n°: 38

Présentation : Poster

Conditions for agricultural uses of an indurated volcanic tuff (*tepetate*) in Mexico
Conditions de mise en culture d'un tuf volcanique induré (*tepetate*) au Mexique
Condiciones de habilitación agrícola de una toba volcánica endurecida (*tepetate*) en México

BAEZ Aurelio ¹, ASCENCIO Eduardo ¹, PRAT Christian ¹, MARQUEZ Alfonso ²

¹ORSTOM, AP 57297 México, Mx. prat@mpl.orstom.fr .

²Colegio de Postgraduados en Agrociencias, 56230 Montecillo, Edomex, México.

The purpose of this study is to precise the conditions of agricultural rehabilitation of a volcanic indurated and sterile tuff, called *tepetate*, in the eastern part of the valley of Mexico. Compaction and reduced porosity, as well as lack of nitrogen, carbon and poor biological activities are reducing dramatically the possibilities for plant developments in this material.

According to previous studies of the French institute ORSTOM and the Mexican Colegio de Postgraduados, helped by the European Union, we compared from 1993 to 1996 several treatments and cultures (local varieties) on a reclaimed *tepetate*. Respecting a sustainable development strategy, those treatments are based on the knowledge and practices of an agriculture managed by poor peasants.

The results show that after a removing of the *tepetate* by a bulldozer, the creation of terraces with low slope, the use of a good association cultures (first year: barley - *Medicago* p., next years: corn - string bean), a correct fertilization with three applications, and some other agronomical technics, it is possible to reach, since the first year, a very good productivity of this new soils.

But in fact, in this areas, the main problem to guarantee the productivity of the cultivated *tepetate* is not really the technical conditions of its rehabilitation but the poor quantities and the unpredictable distribution of the rain as well as the cost of this rehabilitation programmes.

Key words: Mexico, indurated volcanic soils, tepetate, agricultural rehabilitation, agronomy.

Mots clés: Mexique, sol volcanique induré, tepetate, habilitation agricole, agronomie. Palabras

claves: México, suelo volcánico endurecido, tepetate, restauración agrícola, agronomía.

Enregistrement scientifique n°: 2547

Symposium n°: 38

Présentation : Poster

Conditions for agricultural uses of an indurated volcanic tuff (*tepetate*) in Mexico
Conditions de mise en culture d'un tuf volcanique induré (*tepetate*) au Mexique
Condiciones de habilitación agrícola de una toba volcánica endurecida (*tepetate*) en México

BAEZ Aurelio¹, ASCENCIO Eduardo¹, PRAT Christian¹, MARQUEZ Alfonso²

¹ORSTOM, AP 57297 México, Mx. prat@mpl.orstom.fr .

²Colegio de Postgraduados en Agrociencias, 56230 Montecillo, Edomex, México.

Le tuf volcanique induré, connu par les paysans sous le nom de «*tepetates*» couvre des dizaines de milliers de kilomètres carrés le long de l'axe néovolcanique mexicain. Cet horizon est normalement recouvert par un sol épais et fertile. Or cette région est celle qui est la plus densément peuplée, non seulement à cause des villes qui regroupent plus du tiers de la population du pays, mais aussi par les campagnes qui entourent ces dernières. Repoussés depuis la colonisation sur les flancs des volcans, les paysans cultivent les zones de piedmont. Or ces terres fragiles s'érodent pour des raisons autant historiques, socio-économiques que climatiques. Progressivement, les *tepetates* affleurent et s'étendent sur des surfaces toujours plus grandes. Des estimations laissent à penser que plus du quart de la surface des piedmonts présentent des affleurements de *tepetates* (Servenay, 1997). Indurés, compactes et stériles, ces matériaux sont incultivables.

Toutefois, des programmes de mise en culture des *tepetates* après défonçage au bulldozer existent depuis une trentaine d'années. Malheureusement, n'ayant pas été précédés par des études scientifiques, les résultats sont très décevants. Pourtant, depuis 10 ans, une série d'essais réalisés notamment avec le soutien de l'Union Européenne, ont permis de préciser les conditions de mise en culture et de développement de l'agriculture sur ces nouveaux sols (Quantin, 1992). Ainsi, nous avons effectué un suivi pendant 4 ans de différentes cultures et de systèmes de culture sur des terrasses de *tepetate* qui venait d'être travaillé pour la première fois. C'est une partie des résultats de ces travaux qui sont présentés ici.

Objectif

L'induration, la compactation et la très faible porosité ainsi que l'absence d'azote, de carbone et une activité biologique réduite du *tepetate* empêchent pratiquement tout développement des plantes. Toutefois, après un défonçage au bulldozer de ce tuf, il est possible dans certaines conditions, d'arriver à produire des cultures avec de bons rendements pour la région. L'objet de cette étude est de préciser les conditions de la mise en culture d'un *tepetate* dans la vallée orientale de Mexico.

Méthodologie

En prenant pour base des études antérieures de l'ORSTOM et du Colegio de Postgraduados de Montecillo concernant l'agriculture sur des *tepetates* (Marquez et al., 1992), nous avons comparé de 1993 à 1996 différents traitements (Tab. 1) et cultures (variétés locales) (Tab. 2), dans le cadre d'une agriculture pluviale menée par des petits paysans.

Des suivis agronomiques détaillés ont été effectués sur placettes et les rendements mesurés sur chaque terrasse. Les cultures ont reçu un apport fractionné d'engrais minéraux (80/60/0 en 93; 70/60/0 en 94 et 95; 100/80/0 en 96) sauf la T4 qui a reçu du fumier de bovins (13, 7, 7, 16 t en sec/ha/an). Excepté en 1994, cet essai a également reçu un complément minéral en début de cycle (un tiers de la dose appliquée sur les autres terrasses).

Tableau 1. Caractéristiques des terrasses après le défonçage et terrassement du *tepetate*.

Traitements	Ref.	Surface m ²	Substrat	Profondeur* m	Pente %
Effet profondeur du défonçage	T2	470	<i>Tepetate</i> défoncé et travaillé	0.60	4.7
Référence monoculture	T3	775	“	0.46	3.2
Effet apport fumier	T4	730	“	0.43	3.4
Effet préparation fine du sol	T5	790	“	0.44	2.5
Référence tepetate cultivé (avec incorporation résidus)	T6a	735	“	0.40	4.4
Id. sans incorporation de résidus de culture	T6b	420	“	0.40	4.4
Référence sol	T7	715	Sol en place (phaeozem)	0.53	5.9

* Profondeur moyenne de défonçage

Suite à des essais antérieurs, il est apparu que le maïs ne commence à se développer qu'à partir de la seconde, voire même troisième année, alors que des céréales telles que l'orge, le blé ou l'avoine peuvent donner de bons résultats dès la première année de mise en culture. Notons que le Mexique, berceau du maïs, présente une énorme diversité de variétés, chacune d'entre elle correspondant à un usage ou à des conditions particulières du milieu naturel. C'est pourquoi, nous avons retenu la variété de maïs bleu précoce, à haute valeur marchande et dont le rendement régional moyen se situe autour de 2,5 t/ha/an, selon les conditions climatiques de l'année, de la nature du sol et des amendements utilisés.

La vesce en 1993 puis le *Medicago polymorpha* (luzerne) en 1996, ont été utilisés comme cultures dérobées sous céréale afin que celle-ci puisse bénéficier de l'aptitude de la légumineuse à fixer l'azote atmosphérique. Ces légumineuses peuvent ensuite servir comme fourrage ou engrais vert. Le *Medicago p.* présente l'avantage sur la vesce d'être moins compétitif par rapport à la culture avec laquelle il est associé. De plus, en tant que plante locale, elle est donc beaucoup mieux adaptée aux conditions climatiques difficiles de la région que la vesce.

Tableau 2. Cultures testées de 1993 à 1996.

Ref.	1993	1994	1995	1996
T2	Orge + Vesce	Maïs + Haricot + Fève	Maïs + Fève	Orge + Luzerne
T3	Orge	Maïs	Maïs	Orge
T4	Orge + Vesce	Maïs + Haricot + Fève	Maïs + Fève	Orge + Luzerne
T5	Orge + Vesce	Maïs + Haricot + Fève	Maïs + Fève	Maïs + Fève
T6a	Orge + Vesce	Maïs + Haricot + Fève	Maïs + Fève	Maïs + Fève
T6b	Orge + Vesce	Maïs + Haricot + Fève	Maïs + Fève	Maïs + Fève
T7	Orge + Vesce	Maïs + Haricot + Fève	Maïs + Fève	Orge + Luzerne

La densité des semis représente en culture associée l'équivalent de 105 kg/ha d'orge (variété «esmeralda» de l'INIFAP¹) pour 21 kg/ha de vesce en 1993 et 1,3 kg de luzerne en 1996, contre 150 kg/ha en monoculture. Ces cultures ont été semées manuellement à la volée. Le maïs en monoculture, a été planté en ligne par poquet de 4 graines, suivi d'un éclaircissage afin de laisser 3 pieds/poquet, soit une densité de 60 000 plants/ha. En association, en 1994, un poquet de 3 graines de fève était intercalé tous les 33 cm, entre un poquet de 4 graines de maïs et un de 4 graines de haricot. Les plantes ont été éclaircies manuellement pour laisser 2 pieds de fève, 3 de maïs et 3 de haricot, soit respectivement une densité de 25 000 et 37 500 plants/ha. En 1995 et 1996, un poquet de 3 graines de fève était intercalé entre un de 4 graines de maïs tous les 40 cm. Les plantes ont ensuite été éclaircies manuellement pour laisser 3 pieds de maïs et 2 de fève soit une densité de 46 900 et 31 250 plants/ha.

Résultats

Caractéristiques de la pluviométrie de 1993 à 1996.

1993 correspond à l'année la plus sèche mesurée au cours de ces essais puisqu'il n'est tombé que 421 mm au lieu des 700 à 800 mm habituels. De plus, la période des pluies n'a véritablement commencé qu'à la fin du mois de juin. Malgré cette pluviométrie désastreuse et le fait que c'était la première année de mise en culture du *tepetate*, nous avons obtenu des rendements dépassant le plus souvent les rendements des moyennes régionales.

La pluviométrie de 1994 a été de 700 mm, avec un régime «normal» des précipitations, malgré une petite période sèche de mi mai à mi juin se produisant peu après les semis, suivie d'une période assez humide. Cet excès temporaire d'humidité a gêné le bon déroulement des opérations de nettoyage des champs, provoquant par exemple des pertes pour les haricots.

Malgré une pluviométrie annuelle de 735 mm en 1995, c'est près du quart des précipitations (190 mm) qui est tombé en dehors de la saison agricole. De plus, à cause des pluies qui furent très irrégulières, des périodes de sécheresse ont eu lieu à des moments clés de la croissance du maïs. Enfin, des gelées précoces se produisirent fin septembre et début octobre. Ces aléas climatiques ont affecté une partie des rendements en maïs, plante plus sensible que la fève.

1996 a été marqué par des pluies faibles (560 mm) dont 20% sont tombées pendant la saison sèche. De plus, sur ces 463 mm, 5 averses représentent à elles seules près de 40% de ce total. De fait, la saison des pluies n'a réellement commencé qu'à la fin août. Les précipitations furent alors fréquentes ce qui a permis aux cultures de rattraper leur retard

¹ INIFAP : Instituto Nacional de Investigación Forestal y Agro-Pecuario

et de ne plus souffrir de stress hydriques. Toutefois, une période de sécheresse avant la floraison et des gelées précoces avant les récoltes ont contribué à faire baisser les rendements.

Caractéristiques des rendements en matière sèche et en grains de 1993 à 1996.

Les rendements sont exprimés en t/ha sans tenir compte des proportions respectives de chacune des cultures associées. Seul le rendement de la monoculture correspond donc à un rendement occupant 100% de la surface.

Tableau 3. Production (t/ha) de matière sèche (parties aériennes) obtenue de 1993-1996.

Ref.	1993		1994			1995		1996			
	Orge	Vesce*	Maïs	Fève	Haricot	Maïs	Fève	Orge	Luzerne*	Maïs	Fève
T2	2.1	0.2	3.1	0.1	1.9	3.1	1.1	1.3	0.0		
T3	3.5	----	7.5	----	----	5.0	----	1.3	----		
T4	2.8	0.5	1.2	0.1	1.2	2.7	1.2	3.6	0.1		
T5	2.9	0.8	3.3	0.2	1.8	3.4	1.3			2.5	1.0
T6a	3.7	1.1	3.6	0.1	2.0	2.6	1.4			2.7	0.5
T6b						2.7	1.2			2.5	0.6
T7	2.3	0.3	2.4	0.1	1.0	3.1	0.5	2.3	0.0		

Tableau 4. Rendements (t/ha) en grains obtenus de 1993-1996.

Ref.	1993		1994			1995		1996			
	Orge	Vesce*	Maïs	Fève	Haricot	Maïs	Fève	Orge	Luzerne*	Maïs	Fève
T2	1.6	0.2	0.9	1.2	0.1	1.1	0.6	1.4	0.1		
T3	2.0	----	1.9	----	----	1.3	----	1.6	----		
T4	2.6	0.4	0.5	1.0	0.1	0.6	0.4	1.9	0.1		
T5	2.2	0.7	0.8	1.2	0.2	1.1	0.5			2.5	0.6
T6a	3.1	0.9	0.9	1.1	0.1	1.0	0.4			2.4	0.8
T6b						1.1	0.6			1.7	0.5
T7	2.5	0.2	0.9	1.0	0.1	2.6	0.3	1.2	0.1		

En 1993, T6 présente le plus fort rendement en grains d'orge (20% de plus que la référence sol T7). Toutes les autres terrasses, sauf T2, ont de meilleurs résultats que la monoculture (T3). En ce qui concerne la vesce, les variations de la production entre terrasses sont sensiblement les mêmes que celles observées dans le cas de l'orge. Les rendements en orge sur les terrasses T4 à T7 sont un peu supérieurs à ceux de la moyenne nationale (2,0 t/ha). Sur la terrasse T6 le rendement en orge (3,1 t/ha) est proche de l'optimum pour cette variété au Mexique. L'effet de la fumure organique en T4 est un peu inférieur (2,6 t/ha) à celui de la fertilisation minérale, sans doute à cause de la dose trop modérée de l'apport de fumier.

En 1994, le développement végétatif du maïs et de la fève a été meilleur sur l'ensemble des terrasses de *tepetate* que sur sol naturel. Le développement du maïs a été très réduit sur la terrasse T4 en raison du retard à l'apport de fumier effectué après le semis.

Les rendements en maïs sur *tepetate* ont tourné autour de 0,8 t/ha ce qui n'est pas très élevé, même pour une culture associée avec la fève et le haricot. L'essai en monoculture présente un résultat (1,9 t/ha) proche de la moyenne régionale. Sur la terrasse T4, l'apport trop tardif et insuffisant de fumier s'est traduit par une mauvaise croissance, un très large écart entre floraison mâle et femelle (40 jours) et une mauvaise

efficience reproductive (64%). En conséquence, le rendement n'a été que de 0,5 t/ha. Sur les terrasses avec fertilisation minérale, cet effet a été moins sensible et donc la croissance meilleure. L'efficience reproductive demeure en moyenne de 66% (la normale est 80%) et le rendement est inférieur à la production optimale de cette variété. Là encore, le maïs a souffert d'une déficience en azote. Le rendement n'est pas meilleur sur sol agricole (T7).

En revanche, les rendements en grains de fève sont normaux et proches d'un type de traitement à l'autre, compte tenu de la densité des plants : 1,1 t/ha en moyenne sur *tepetate* et de 1,0 t/ha sur sol naturel.

La production du haricot, qui n'a pu se développer normalement suite à des problèmes au moment du nettoyage des plants, est négligeable (0,1 à 0,2 t/ha).

La production globale moyenne (addition de l'ensemble des rendements pour chaque essais) sur les terrasses de *tepetate* avec fertilisation minérale a été de 2,1 t/ha. Elle paraît convenable en comparaison de la moyenne nationale, mais reste inférieure à l'optimum que l'on aurait pu atteindre.

En 1995, les cultures ont eu des difficultés pour s'installer suite à un début de saison des pluies difficile. La production en matière sèche a donc été irrégulière et moyenne.

S'étant mal développé sur les terrasses de *tepetate* cultivé, le maïs a présenté un important déphasage entre floraison masculine et féminine (15 jours) ce qui a entraîné une efficience reproductive réduite et par conséquent des rendements plus faibles. Par contre, ce ne fut pas le cas de la parcelle sur sol naturel T7: une meilleure précocité de la floraison mâle et un écart très réduit (7 jours) avec la floraison femelle a multiplié par 2,5 le rendement du maïs. L'efficience reproductive étant alors proche du maximum, ce rendement correspond pratiquement à l'optimum de cette variété.

Sur les terrasses de *tepetate* avec fertilisation minérale et culture associée (T2, T5, T6a/b), la production de maïs a été un peu supérieure à celle de 1994, manifestant ainsi une légère amélioration en troisième année de culture, et ce, malgré des aléas climatiques (sécheresse à la floraison, gelées). La terrasse T6b, sans résidus de récolte ne se distingue pas de T6a, montrant par là même que l'effet de la suppression de l'incorporation des résidus ne s'est pas encore fait sentir. Le rendement de la monoculture de maïs (T3) est mauvais (1,3 t/ha).

La production de fève a diminué de plus de moitié par rapport à 1994. Les conditions climatiques plus défavorables en raison de pluies fréquentes qui ont occasionné des maladies, expliquent probablement cette chute de rendement. Cet effet est plus sensible sur la terrasse T7 en raison du fort développement du maïs, les deux productions étant antagonistes.

En 1996, les terrasses ont donc été semées pour les unes avec une association d'orge et de luzerne (Terrasses T2, T3, T4 et T7), alors que les trois autres l'ont été avec une association de maïs et fève.

Le faible nombre de plants d'orge ayant levé, il a été partiellement compensé par un fort tallage (3,3), un développement végétal important en hauteur (+ 70%) et surtout en matière verte et en matière sèche (+ 170%). Cet effet a été visible aussi sur la hauteur du

Medicago p., preuve d'une meilleure nutrition azotée. L'orge s'est mieux développé sur sol naturel que sur *tepetate* en condition de fertilisation minérale seule, par contre la monoculture se distingue peu de la culture associée.

Les rendements en grains sont beaucoup plus faibles par rapport à ceux obtenus en 1993, alors que cette année correspondait à la première année de culture et à une année exceptionnellement sèche. Comparé à 1993, 1996 se caractérise par un moindre développement des plants, un nombre réduit de grains par épi (15 à 20) et un poids moyen de 100 grains plutôt médiocre (3,1 g). Le retard dans l'application de la fertilisation minérale et la sécheresse non seulement au moment du semis mais surtout, au moment de l'élaboration du grain, expliquent ces résultats moyens.

A cause d'une certaine aridité après le semis, l'installation du *Medicago p.* a également été très irrégulière et son rendement faible.

En ce qui concerne la croissance et la production végétale du maïs, il n'y a pas de différence significative entre les 3 terrasses, donc pas d'effet clair du billonnage cloisonné («contreo») et du résidu de récolte. Le rendement en matière sèche est moyen, légèrement inférieur à l'optimum pour cette variété. On notera que la fève a été plus sensible au traitement du billonnage cloisonné qui permet une meilleure régulation de l'alimentation en eau: le tallage et la production en matière sèche ont quasiment doublé par rapport au billonnage traditionnel.

En terme de rendement en grains de maïs, il n'y a pas de différence entre T5 et T6a. Par contre, le traitement sans incorporation de résidus de culture (T6b) a un rendement de 30% inférieur à ces essais. Les résultats de T5 et T6a dépassent largement la moyenne régionale.

Malgré un bon développement végétatif, le rendement en grain de la fève a été faible (0,3 à 0,6 t/ha), au contraire de ce qui avait été obtenu en 1994 (1 à 1,2 t/ha).

Effet des traitements expérimentés.

Le *tepetate* cultivé avec une fertilisation minérale adéquate a été aussi, voire même parfois plus productif, que le sol naturel.

La profondeur du *tepetate* cultivé à 60 cm n'a eu aucune incidence sur la production. Un défonçage à 40 cm en culture pluviale suffit donc pour les cultures testées.

La texture plus fine et la pente réduite de la terrasse T5 n'a eu aucun effet sur le rendement de l'orge ou du maïs, les différences après analyses étant peu importantes.

Bien qu'il y ait une forte variabilité d'une terrasse à l'autre, on peut constater que les cultures associées orge-légumineuse ou maïs-légumineuse ont tendance à produire plus de grains que l'orge ou le maïs seuls (Tableau 5).

Tableau 5. Rendement monoculture/cultures associées (produit global des cultures associées).

	1993	1994	1995	1996*
Moyenne T2 + T4 + T5 + T6	1.4	1.1	1.1	1.2
Minima-maxima	0.9 - 2.0	0.9 - 1.2	0.8 - 1.3	1.0 - 1.3
Référence T3 (monoculture)	1.0	1.0	1.0	1.0

* Seules T2 et T4 sont prises en compte ici.

L'élimination des résidus de récolte (maïs-fève) n'a pas eu d'effet net sur la production, probablement parce que le retour en azote des résidus est minime (3 à 4 kg de N/ha/an) et qu'il a été compensé par les apports d'engrais minéraux.

Le billon cloisonné en 1996, année plutôt sèche, n'a pas sensiblement accru le rendement en grain du maïs alors que celui de la fève l'a été. La résultante des deux conduit à une production globale plus élevée que dans le cas des cultures en billons simples. Ce résultat, tout comme celui du cas précédent, demande toutefois à être confirmé.

Autres facteurs apparus à l'analyse.

Le premier concerne la variabilité climatique inter-annuelle et notamment les aléas de sécheresse ou de gel qui se font sentir différemment selon les plantes et réduisent la signification des variations de production en fonction du nombre d'années de culture ou de la rotation culturale.

Le deuxième facteur est la variabilité importante du potentiel de fertilité ou des façons culturales entre terrasses et sur la même terrasse. Faute de répétition la comparaison des rendements est moins significative.

Dans nos essais, la fertilisation minérale ou organique a été insuffisante, surtout pour le maïs. Dans le cas du maïs, en deçà d'un certain minimum d'apport en azote, la baisse de l'efficacité reproductive est rétrograde sur le rendement. L'association d'une légumineuse fixatrice d'azote (inoculée en *Rhizobium* spécifique) ne pallie pas ce besoin à court terme, mais probablement à moyen terme. En outre l'application tardive de la fumure organique (en 1994) ou minérale (en 1996) a eu des effets négatifs immédiats sur la production, preuve de la fragilité du système.

La culture associée maïs-fève, dans ces conditions de fertilisation modérée et de haute densité des plants, est complémentaire : en cas de médiocre développement du maïs, la fève produit bien ; en cas contraire elle produit peu. Globalement, il y a une légère augmentation de la production par rapport à la monoculture.

L'association orge-vesce est déconseillée à la suite de la concurrence entre ces plantes. Par contre, le remplacement de la vesce par la luzerne locale (*Medicago polymorpha*) a abouti globalement à de bons résultats.

Conclusions

Les résultats montrent qu'après un défonçage au bulldozer du tuf, la formation de terrasses à faible pente et à condition de respecter un certain nombre de critères, on peut arriver à produire des cultures avec de bons rendements pour la région et ce dès la première année.

Ainsi, on notera que la première année de mise en culture doit être orge/*Medicago*, puis maïs/fève les années suivantes. Les associations orge/*Medicago* et maïs/fève sont préférables à orge/vesce et maïs/fève/haricot et donnent globalement de meilleurs résultats que la monoculture. Les doses de fertilisation minérale et organique doivent être augmentées par rapport à nos essais afin d'obtenir une meilleure production. Ils doivent également être fractionnés en 3 fois. L'application du fumier implique un coût en temps et en argent qui n'est pas compensé par une augmentation des rendements à court

et moyen terme. C'est pourquoi, il est préférable de recommander l'usage d'engrais minéraux avec une culture principale associée à une légumineuse. Des essais sont nécessaires pour confirmer que le billonnage cloisonné et l'enfouissement des résidus de cultures produisent plus que le simple billonnage, et le non enfouissement des résidus de culture. Enfin, certaines pratiques sont aussi inutiles qu'onéreuses telles que le défonçage du *tepetate* à 60 cm ou une préparation fine du terrain.

En respectant donc un certain nombre de techniques adaptées aux connaissances des paysans locaux et à la réalité du milieu, il est possible de transformer ces zones désertiques que sont les *tepetates* affleurants en zones agricoles productives.

Bibliographie

Báez A., Ascencio E., Prat C. y Márquez A. 1997. Análisis del comportamiento de cultivos en *tepetate* t3 incorporado a la agricultura de temporal , Texcoco (México). *In*: Zebrowski et al. (Eds), Actas del 3e simposio internacional sobre los suelos volcánicos endurecidos. 6-12 déc. 1996. Orstom, Quito, Ecuador. p 296-310.

Marquez A., Zebrowski C. y Navarro H. 1992. Alternativas agronomicas para la recuperacion de tepetates. Terra, Vol 10, N° especial. Orstom-CP, Mexico. P 465-473.

Quantin P. 1992. Etude des sols volcaniques indurés "*tepetates* des bassins de Mexico et de Tlaxcala", en vue de leur réhabilitation agricole. Rapport scientifique final NTS2-A-212-C.

Servenay A. 1997. Les paysages de *tepetates* du Mexique central volcanique: identification et caractérisation spatiale par télédétection et SIG des zones agricoles à réhabiliter. Mémoire DEA, Univ. Toulouse-le Mirail, ORSTOM, 90 p.

Tous nos remerciements aux responsables et au personnel des laboratoires de fertilité et de physique des sols du C.P., au CIMMYT (Centro de Investigación y Mejoramiento del Maíz y Trigo) et à l'INIFAP Chapingo pour leur aide et conseils; ainsi qu'à la communauté paysanne de San Miguel Tlaixpan qui nous a prêté les terrains d'expérimentation.

Key words: Mexico, indurated volcanic soils, tepetate, agricultural rehabilitation, agronomy.

Mots clés: Mexique, sol volcanique induré, tepetate, habilitation agricole, agronomie. **Palabras claves:** México, suelo volcánico endurecido, tepetate, restauración agrícola, agronomía.