

ORSTOM-Paris

Justus Liebig Universität-Giessen

Colegio de Postgraduados-Montecillo

Universidad Autónoma de Tlaxcala

ETUDE DES SOLS VOLCANIQUES INDURES (TEPETATES)
DES BASSINS DE MEXICO ET TLAXCALA (MEXIQUE)

Leur production agricole

Hermilio Navarro (C.P.)
Claude Zebrowski (ORSTOM)

30 juin 1992

Commission des Communautés Européennes
Contrat CCE/ORSTOM n° TS2-0212

Fonds Documentaire ORSTOM

Cote: Ax 16572 Ex: 1

Introduction

La mise en culture des tepetates est un sujet controversé, mais fort peu étudié. Il existe des études réalisées au laboratoire, mais très peu en station expérimentale et aucune en milieu paysan. Quant à la rentabilité des opérations de réincorporation des tepetates à la production agricole, elle a souvent mise en doute mais n'a jamais été étudiée sérieusement.

C'est pourquoi, dans le cadre de l'étude des sols volcaniques indurés réalisée conjointement entre le Colegio de Postgraduados (C.P.), l'université et le Gouvernement de Tlaxcala, l'université de Giessen et l'ORSTOM (contrat CCE/ORSTOM n° TS2-O212), nous avons décidé de réaliser une étude de la productivité des tepetates.

Alors que des chercheurs de l'équipe de Tlaxcala et du Colegio de Postgraduados, évaluaient la production forestière et l'impact des reboisements sur le ruissellement, l'équipe ORSTOM, en liaison avec des chercheurs du Colegio de Postgraduados, évaluaient la production agricole et le coût des productions agricoles sur tepetates.

La plupart des résultats ont fait l'objet de publications dans diverses revues et ont été présentées lors du symposium sur les sols volcaniques indurés d'octobre 1991. Nous ne présentons ici qu'un bref rapport résumant les résultats portant sur les cultures et les coûts de production.

Les personnes ayant travaillé sur ces derniers thèmes sont:

- Hermilio Navarro: Professeur au Centre de Desarrollo Rural du C.P.
- Marcela Ortiz et David Peña: Chercheurs du Centre d'Edaphologie du C.P.
- Alfonso Marquez: élève de l'UNAM (préparation de thèse)
- Pascal Zahonero et Isabelle Gasnier: stagiaires ISTOM
- Claude Zebrowski: ORSTOM

Les analyses chimiques des sols ont été réalisées au laboratoire de Fertilité des Sols du C.P. (responsable: Jorge Etchevers, professeur du C.P.).

I Motivation de l'étude.

La reincorporation à l'agriculture des zones érodées à tepetate est pratiquée de façon traditionnelle (emploi du pic) depuis l'époque préhispanique. Aux environs de l'année 1970, la réhabilitation des zones érodées a été réalisée plus intensément par des organismes semi-publics qui, grâce à d'importants travaux de sous-solage et de terrassement, ont, dans une première phase, réalisé des reboisements, puis, dans une deuxième, des terrasses pour les cultures.

Dans le cadre de l'étude des sols volcaniques indurés, une évaluation de toutes ces expériences de réhabilitation devait être faite comportant des mesures de la production du tepetate ainsi que de la rentabilité de telles opérations.

II Thèmes abordés et problématique

- La production agricole sur tepetates est mesurée dans un premier temps en milieu paysan, au moyen de suivis agronomiques, afin d'avoir une idée des rendements obtenus actuellement en tenant compte des conditions réelles de culture en milieu traditionnel.

Ces suivis agronomiques durant le cycle des cultures permettent de déterminer le rôle des facteurs de production (influence du type de tepetate, de son âge de mise en culture; impact des façons culturales; etc.).

La productivité potentielle du tepetate est mesurée en station expérimentale.

- La détermination des caractéristiques des tepetates à différents âges de mise en culture permet par ailleurs de suivre l'évolution du tepetate en fonction du temps.

- L'évaluation de la rentabilité, c'est à dire du rapport Bénéfice/Coût de revient, doit être réalisée, pour différentes cultures, dans le cadre du "Système Economique Familial" (S.E.F.) paysan. Les coûts de revient (coûts du sous-solage et du terrassement, coûts de production) sont déterminés au moyen d'enquêtes, en particulier lors des suivis agronomiques. L'étude des S.E.F. est en cours d'étude.

III Réalisation et résultats

La productivité des tepetates en milieu traditionnel a été mesurée au cours de suivis agronomiques réalisés en 1989, 1990 et 1991. Elle a été également mesurée en station expérimentale sur tepetate de première année en 1991 (essais réalisés à Tlalpan sur tepetate t3). Cette expérimentation est poursuivie en 1992 et probablement en 1993.

1- Suivis agronomiques en milieu traditionnel paysan

a) 1989: Influence du type de tepetate et de son âge sur les rendements en maïs.

Les premières évaluations de rendements ont été réalisées par Marcela Ortiz sur tepetates reincorporés à l'agriculture, situés sur le piemont occidental de la Sierra Nevada. 14 parcelles, d'âges et de types différents (tableau 1), ont été sélectionnées.

Tableau 1. Résultats 1989

N° de type		années de cultur	pH	N %	M.O. %	P(OI sen.) ppm	K mé	Fertilisation N.P.K	Rdt en t/ha		
lle	sol								grain	vert	
Zone sèche											
sans irrig	12	t2 t3	6	7,9	0,03	0,67	2	0,95	00.00.00	0	1
irrig	13	t2	8	8,2	0,12	2,8	11	1,92	92.46.00	0	1,8
	14	t3	8	7,7	0,18	3,6	44	2,79	00.00.00	0	5,9
avec irrig	11	t2	15	-	-	-	-	-	?	1,2	11,1
irrig	10	t3	15	-	-	-	-	-	233.116.0	2,4	11,4
Zone humide											
	1	t2	10	6,7	0,04	0,67	39	0,94	172.96.0	2,2	6,9
	2	t3	5	8,3	0,01	0,7	9	3,07	96.00.00	0	2,6
	5	t3	7	7,6	0,04	0,5	10	0,88	266.133.0	3,8	10,7
	9	t3	13	6,8	0,06	0,93	5	1,33	00.00.00	0	1,5
	4	brèche		6	0,03	0,55	10	0,3	16.07.00	1,13	3,69
	6	brèche		6,4	0,08	0,14	25	1,26	00.00.00	0,97	2,74
	7	brèche	1	6,7	0,02	0,33	10	0,53	380.380.0	0,4	1,36
	8	brèche	1	6,7	0	0,03	5	0,33	100.50.00	0,6	4,75
	3	sol		5,3	0,09	1,44	20	0,3	100.50.00	0,6	4,8

Ces 14 parcelles sont situées entre Tequesquinahuac, à l'est de Texcoco, et la zone nord de Santa Maria Tecuanulco, soit à des altitudes comprises entre 2600 et 2700 m.

Alors que les précipitations moyennes annuelles sont de 625 mm à Texcoco, elles sont légèrement supérieures dans la partie sud (la plus humide) de la zone d'étude et légèrement inférieures à cette valeur dans la partie nord. L'année 1989 a été, du point de vue des précipitations, légèrement inférieure à la normale, ce qui, pour la culture du maïs, représentait un facteur limitant dans les zones les plus sèches.

La culture choisie a été le maïs, car c'est la plus répandue dans cette région.

Les 14 parcelles sont des tepetates situés sur les séries T2 et T3 et sur brèche volcano-sédimentaire, et une à titre comparatif sur sol non induré. Elles sont regroupées, dans le tableau 1, en fonction de la zone climatique dans laquelle elles se trouvent, du type de sol et de l'âge d'incorporation à l'agriculture.

En 1989, aucun suivi agronomique détaillé n'a été réalisé. Quelques observations sur le terrain ont été réalisées, les rendements en vert et en grains ont été mesurés et une enquête auprès des agriculteurs a été faite. Elle a permis de connaître les principales façons culturales et les quantités de fertilisants appliqués. Deux agriculteurs, dont les parcelles (10 et 11) sont situées en zone sèche, ont irrigué leur maïs. Le propriétaire de la parcelle 5 pratique le "contreo", c'est à dire qu'il édifie dans les sillons des petits barrages de terre à intervalles réguliers pour récupérer le maximum d'eau de pluie et éviter le ruissellement dans les sillons.

En fait la majeure partie des agriculteurs concernés, excepté ceux des parcelles 2 et 5, ont un travail salarié durant la semaine et n'ont que peu de temps à consacrer à la culture. Les travaux agricoles sont de ce fait négligés.

Cette première évaluation des rendements (tableau 1), complétée par un "survol" général de la zone au moment des récoltes a néanmoins permis de montrer que

- les rendements en maïs sur tepetate peuvent être corrects si les façons culturales sont bien réalisées.

- les fertilisations appliquées par les paysans sont extrêmement variables, souvent absentes, parfois trop fortes. Aucune fumure potassique n'est pratiquée.

- le type de tepetate ainsi que l'âge de remise en culture ne sont pas les principaux facteurs pouvant expliquer les différences de rendements (mais les agriculteurs affirment que les rendements en maïs sur tepetate t2 et t3 de première année sont toujours très faibles. Cela a été confirmé sur brèche, à défaut de tepetate t2, t3; mais certains de ces derniers, de 5 ans et plus, ont eu également des rendements faibles.

- les conditions climatiques peuvent être un facteur limitant (manque d'eau).

b) 1990: suivis plus approfondis

Les suivis agronomiques ont été faits (par Hermilio Navarro et Isabelle Gasnier) dans la région de Hueyotlipan (Etat de Tlaxcala), où de nombreuses zones érodées à tepetate ont été mises en culture. Cinq parcelles cultivées en maïs, situées sur tepetate de la série T3 (la plus représentée dans cette région), ont été choisies en fonction de leur âge de mise en culture (1 à 5 ans). A titre comparatif, trois parcelles de sol non induré, également cultivées en maïs, ont été incluses dans les suivis.

Les suivis ont également été réalisés sur 4 parcelles cultivées en blé (deux parcelles sur t3 de 1 et 3 ans, une parcelle sur t2 de 3 ans et une parcelle sur sol non induré).

Les facteurs de production mesurés furent: l'eau dans le sol (en 1990 elle a été en quantité suffisante, et donc n'a pas été un facteur limitant la production des cultures), la densité de semis ainsi que le pourcentage final de plantes portant des épis, le nombre de grains par épi et leur poids. Les façons culturales ainsi que l'état sanitaire des plantes ont été également notés.

Les principaux résultats ont été présentés par Isabelle Gasnier, dans son mémoire de fin d'études (1991), ainsi que par H. Navarro (1991). Nous ne donnons ici que les résultats de rendements totaux (tableau 2).

Tableau 2. Résultats suivis 1990

Maïs								
Numéro parcelle.	type sol	année	pH	N (%)	M.O. (%)	P (ppm)	K mé	Rend. (t/ha)
215	t3	1	6,9	0,07	0,87	5	0,84	0,4
214	t3	3	6,9	0,06	1,27	3,7	0,77	2,2
216	t3	3	6,4	0,1	2,4	7,5	0,9	2,5
210	t3	5	6,6	0,14	2,88	6,5	1,95	3,1
211	t3	5	6,6	0,09	1,47	19,2	1,84	2,5
230	sol		6,6	0,14	3,02	37,5	1,47	2,3
231	sol		6,2	0,1	2,01	15,5	0,43	3,3
232	sol		6,9	0,08	1,47	6	0,41	1,4
Blé								
213	t3	1	7,3	0,05	0,91	3,7	1,25	1,5
212	t3	3	7,8	0,05	0,87	4	1,72	1,5
220	t2	3	7,2	0,05	1	3,7	1,56	1,4
232	sol		6,1	0,18	3,75	9,7	0,33	2,3

Ces résultats confirment que les rendements en maïs sont très faibles sur tepetate de première année. Ils peuvent être bons dès la troisième année de production. Par contre les rendements en blé sont assez élevés en première année de culture; sans atteindre ceux sur sol non induré, ils sont égaux à ceux de troisième année.

c) 1991: Une nouvelle série de suivis à été réalisée à Hueyotlipan (H. Navarro, Pascal Zahonero) afin de confirmer les résultats obtenus. C'est au cours de cette étude qu'une enquête auprès des agriculteurs concernant les coûts de production a été réalisée. Les résultats sont en cours d'élaboration.

2- Etude de la production en station

Elle a été réalisée en 1991: Expérimentation sur tepetate récemment sous-solé (Tlalpan: A. Marquez).

La mise en culture des tepetates pose 2 problèmes.

- Comment augmenter la production des tepetates de première année: choix des cultures et des façons culturales, préparation du sol.

- Comment améliorer les caractéristiques physico-chimiques de ces matériaux en particulier créer un stock suffisant de matières organiques (M.O.) produisant des teneurs en N plus élevées et le développement d'une structure stable et d'une macroporosité suffisante.

D'où l'implantation à Tlalpan (Tlaxcala) d'une expérimentation en 1991 sur un tepetate type fragipan de la série T3, sous-solé et terrassé en début d'année, dans le but de tester quelques cultures de première année et de proposer un système de culture permettant un enrichissement rapide en M.O. en tenant toutefois compte des possibilités des paysans de la région.

Les cultures choisies, ont été le blé (souvent utilisé comme culture de première année par les paysans et qui devrait donner de bons résultats), une association maïs-fève-haricot (sachant que le maïs seul a de faibles rendements) et une culture de vesce (pouvant être considérée comme une plante fourragère ou un engrais vert).

Les apports de M.O. ont consisté en 40 t/ha de fumier.

Trois niveaux de fertilisation ont été testés avec trois doses de N (0, 60, 120 U); toujours P (60 U) et sans K (0 U.).

Résultats (cf. A. Marquez, 1991)

L' eau n' a pas non plus, cette année, été un facteur limitant.

Cultures: en première année de mise en culture, avec un apport de 60 U. de N minimum, les rendements en blé furent bons à très bons alors que ceux de maïs furent mauvais à nuls. Les rendements en haricot et fève sont faibles à moyens. Ceux en vesce moyens (tableau 3).

Tableau 3: Rendements expérimentation/Rdt moyen de la région

	Maïs	Haricot	Fève	Blé	Vesce
Rdt t/ha	0-0,2	0,1-0,2	0,3-0,8	2-4	3-6
Rdt moyen	1,8	0,75	1,33	2	

Apport de matière organique: Les parcelles ayant reçus des apports de M.O. présentent des rendements légèrement supérieurs (10%) à celles sans M.O.

Préparation du sol: après la préparation du sol (sous-solage et terrassement) la partie supérieure de la terrasse présentait des blocs de tepetate encore grossiers et une épaisseur de sol meuble faible (10 à 15 cm). La partie inférieure de la terrasse, constituée surtout par un remblai de terre accumulée par le bulldozer, présentait une texture plus fine et une profondeur plus grande. A cette différence entre les états des parcelles, correspond une différence importante dans les rendements. Ainsi la préparation du sol apparaît comme l'un des facteurs de production les plus importants

IV Synthèse des principaux résultats

1- Evolution du tepetate avec le temps

11. Caractéristiques chimiques

Les résultats de quelques analyses chimiques effectuées au cours des essais ainsi que des travaux cartographiques sont résumés dans la figure 1, dans laquelle on remarque les différences suivantes entre tepetate vierge, tepetates mis en cultures et sols non indurés:

- le pH, élevé sur tepetate vierge, est plus bas sur tepetate mis en culture et sur sol non induré.
- les teneurs en M.O. sont très faibles dans les premiers, plus élevées dans les seconds et sont maxima dans les sols non indurés.
- les teneurs en phosphore assimilable suivent la même règle.
- par contre, les teneurs en potassium échangeable, élevées dans les premiers, s'abaissent légèrement dans les tepetates mis en culture et plus fortement dans les sols non indurés (influence du temps de culture avec effet de la fertilisation organique et azotée?, matériaux différents ?)

Cette évolution (baisse du pH, augmentation de la M.O et du phosphore), est une fonction du temps, c'est à dire de l'âge de mise en culture du tepetate. (cf. fig. 2, établie en fonction des résultats des parcelles suivies par I. Gasnier, 1990)

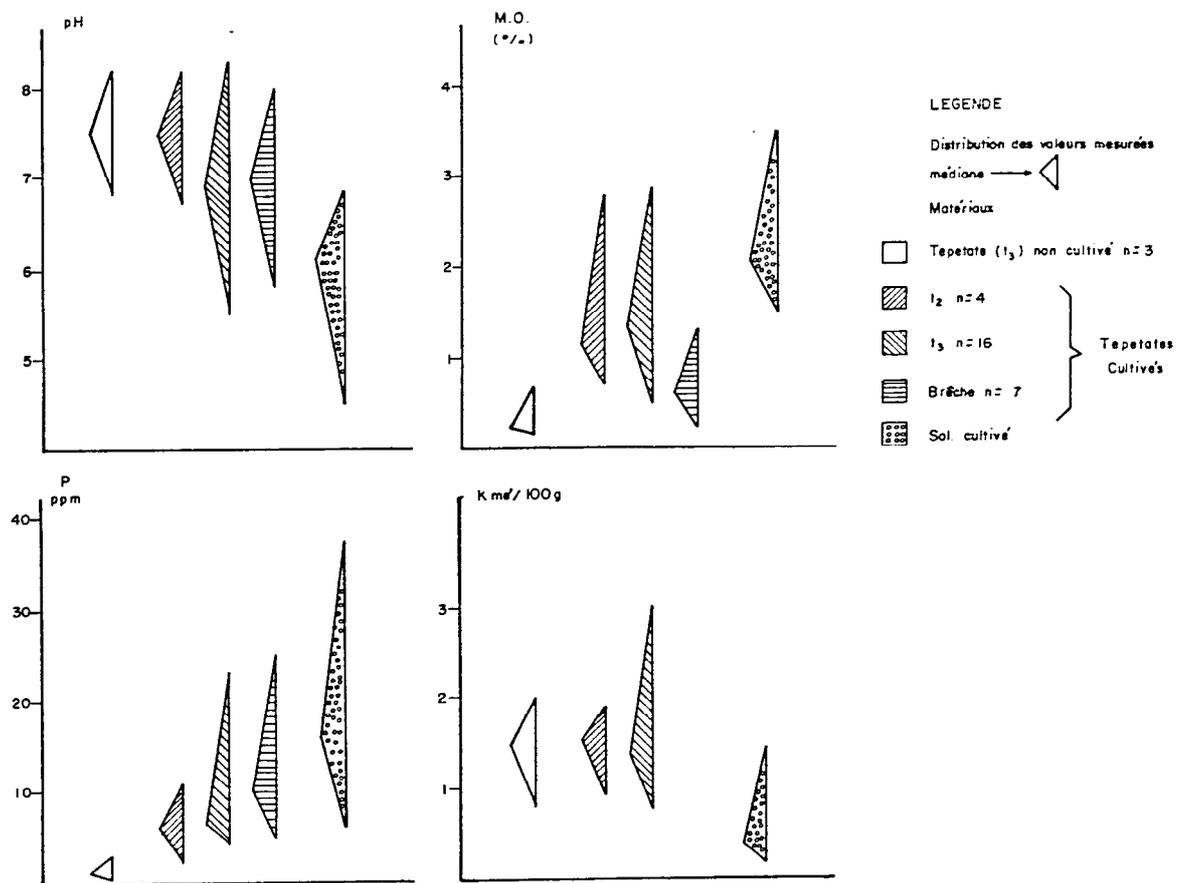


Figure 1: Caractéristiques chimiques des sols et tepetates.

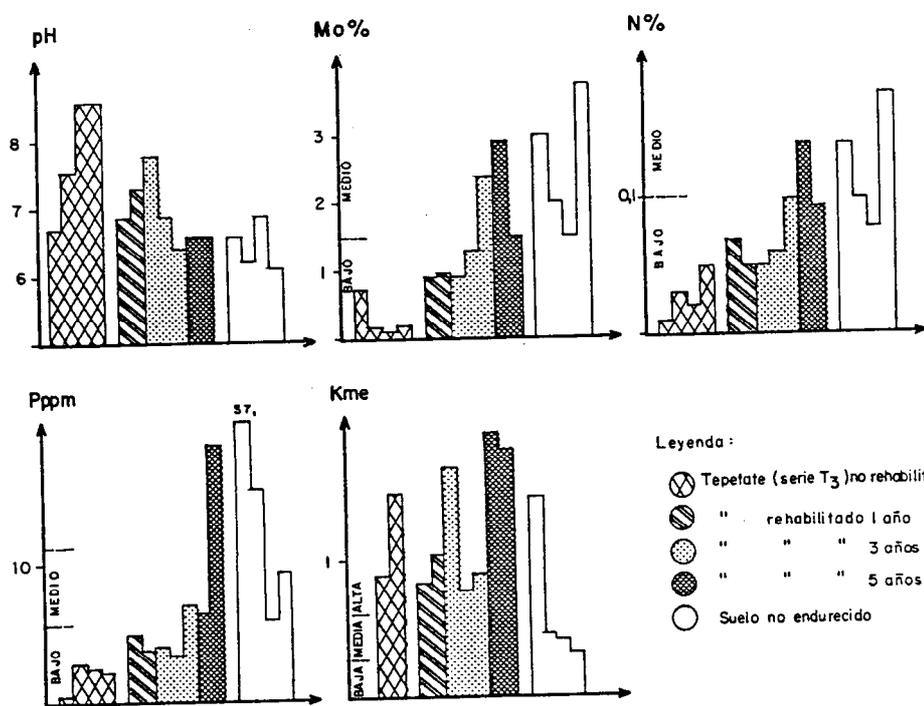


Figure 2: Caractéristiques chimiques des tepetates en fonction de l'âge de leur mise en culture (parcelles suivies en 1990).

12. Caractéristiques physiques

La profondeur de la couche arable, la taille des particules et la structure du sol sont des caractéristiques qui évoluent avec la mise en culture. En dehors de quelques observations de terrain peu de mesures ont été réalisées.

La profondeur de la couche meuble dépend bien évidemment de celle du sous-solage; mais la majeure partie des observations que nous avons réalisées sur des tepetates mis en culture depuis 5 à 15 ans montre que l'épaisseur de la couche meuble tend à diminuer avec le temps, non pas tant par une nouvelle induration, que par érosion de la couche superficielle. Quelques agriculteurs, conscients de ce phénomène, n'hésitent pas à refaire un sous-solage tous les 5 ans.

Une structure secondaire se développe avec le temps, mais aucune évaluation précise n'a été effectuée.

Quelques mesures sur la taille des particules ont été faites (Peña et al., 1990; Marquez, 1991) et sont résumées dans le tableau 4.

Tableau 4: Taille des particules

taille des particules	tepetate t3 de 1 an		divers tepetates de 6 à 13 ans
	préparation moyenne	bonne préparation	
inférieure à 1,68 mm	28%	54%	42%
inférieure à 4,76 mm	43%	69%	57%

Dès la première année la taille des particules peut être correcte, surtout si la préparation a été bien faite. Dans les parcelles de 6 à 13 ans la taille des particules n'a pas diminuée de façon notable sans que l'on puisse savoir si ce fait est dû à une nouvelle structure (non étudié: il serait intéressant de suivre l'effet de l'accroissement du stock organique - et de sa composition- sur le développement d'une structure secondaire), ou à une érosion des fines.

2- Production agricole

21 Les facteurs de la production

. Fertilisation

Comme l'ont montré les travaux de Etchevers (rapport CCE, 1992), ainsi que les résultats des analyses chimiques, la production sur tepetate est possible avec apport d'engrais azotés et phosphatés. Une dose de 60-60-0 semble suffisante pour les tepetates de première année; les résultats du CIFAP devraient fixer des normes pour les tepetates plus anciens. En milieu paysan les doses sont très variables, souvent, nous l'avons déjà dit, trop fortes.

L'absence d'apport potassique, ne prêtant pas à conséquence sur de jeunes tepetates, pourrait entraîner, à long terme des carences en cet élément.

. L'eau

C'est certainement un facteur qui peut être fortement limitant dans les années déficitaires. Des techniques culturales, dont certaines (contreo) sont pratiquées par les paysans, devraient être généralisées (mulch, façons culturales, etc.).

. L'âge de mise en culture

Le tepetate peut produire dès la première année, suivant les cultures (le blé est à recommander). Dès la troisième année, toutes les cultures peuvent être réalisées avec des rendements sensiblement égaux à ceux obtenus sur sol non induré. Les caractéristiques physico-chimiques du tepetate s'améliorent avec le temps. Mais la répétition de sous-solages est souhaitable.

22 Les alternatives de production

Une bonne préparation du sol est avant tout nécessaire (sous-solage profond, taille des particules adéquate); la rentabilité d'une telle préparation reste en cours d'étude.

Le choix d'une céréale, telle l'orge ou le blé comme culture pionnière, est parfaitement justifiée; Le maïs ne devrait être cultivé qu'à partir de la troisième année.

L'incorporation de matières organiques sous forme d'engrais verts (en cours d'étude) est recommandée (cultures dérobées, cultures d'hiver).

23 Le coût de revient

Seul le coût de revient du sous-solage et du terrassement a pu être estimé, par enquêtes auprès des organismes (Zahonero, 1990), et des paysans, ou par des contrôles effectués par nous-mêmes sur le terrain au moment de ces travaux. Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau 5. La rentabilité finale de réhabilitation du tepetate, en milieu paysan, est encore en cours d'étude.

Les chiffres varient très fortement suivant les sources, nous estimons, d'après tous ces renseignements à environ 5 à 7 millions de pesos (1500 à 2100 \$ US) le coût d'un hectare de tepetate terrassé et sous-solé de façon correcte. Faute de moyens les paysans se contentent souvent d'un solage seul qui revient à près de 4 millions de pesos (1200\$), ce qui est le prix cité en Equateur (De Noni et al.,1991). Le temps nécessaire à un sous-solage d'une parcelle de un hectare ayant déjà été sous-solée est d'environ 4 heures soit 400 000 pesos actuels.

Tableau 5: Quelques coûts de revient du sous-solage et du terrassement

1) Coûts horaires machine et par hectare en 1990. (en pesos)

Année	Prix horaire machine	Coût par hectare (1)			
	D5	D7	terrassé	sous-solé	total
1990(1)		96 000	320 000	580 000	900 000
début 91(2)	96 000	220 000			
fin 91(3)	100 000				

(1) in Zahonero (1990), les coûts/ha sont sous estimés

(2) chiffres indiqués par MATET

(3) chiffres indiqués par les paysans (ils ne payent que 9/10 de ce prix de revient)

2) Coûts de revient en 91, lors de l'établissement des parcelles expérimentales (sous-solage et terrassement): coût de revient horaire= 100 000 pesos.

taille parcelle (en m ²)	pente initiale en %	temps passé (Heure/ha)	coût/ha (en millions de pesos)
1 120	2	48	4,8
1 300	5	120	12
2 100	5	72	7,2

3) Sous-solage (sans terrassement) d'une parcelle de paysan.

taille parcelle	nombre d'heures	temps/ha	coût/ha (millions)
2600 m ²	10	38,5	3,8

4) Coûts de revient en 1991 par hectare (chiffres fournis par MATET)

Type de tracteur	Nb d'heures/Ha, dans des conditions		Prix de revient (en pesos) 1\$=3000 pesos	
	Favorables	Défavorables	horaire	par hectare
D5	45	60	95000	4,5 à 5,7 millions
D7	30	35	220000	6,6 à 7,7 millions

Conclusion

La production agricole en milieu paysan traditionnel sur tepetate est possible. Elle peut donner des rendements équivalents à ceux obtenus sur sol non induré notamment après quelques années de culture.

En première année une bonne préparation du sol s'impose: sous-solage profond, afin d'augmenter les possibilités de stockage en eau, et désagrégation des blocs de tepetate jusqu'à une taille optimum de 2 à 4 mm, favorisant un bon contact racines-sol.

Les éléments chimiques limitants (N et P), doivent être corrigés par des apports d'engrais et si possible de matières organiques.

Le blé est à recommander en première année de culture, le maïs ne devant intervenir qu'en deuxième ou mieux en troisième année de culture. Les cultures dérobées ou d'hiver sont également à recommander.

La rentabilité des opérations de réhabilitation est en cours d'étude.

Publications

Gasnier, I. 1991. Suivi agronomique du maïs et du blé sur des sols indurés d'origine volcanique. Mémoire de fin d'études, ISTOM, 76 p + annexes

Marquez, A., Zebrowski, C., Navarro, H. 1991. Alternativas agronomicas para la recuperación de tepetates. Primer Simposio Internacional sobre suelos volcánicos endurecidos. C.P., Montecillo, México.

Navarro H., C. Zebrowski, C. 1991. Analisis agronomico comparativo en tepetate. Primer Simposio Internacional sobre suelos volcánicos endurecidos. C.P., Montecillo, México.

Peña H., D., Ortiz S., M., Zebrowski, C., Etchevers B., J. 1990. Incorporación de los tepetates a la producción agrícola: rendimientos y efectos de la roturación sobre características físico-químicas de tepetates. Memoria del XXIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Comarca Lagunera, México.

Zahonero, P. 1990. Enquête sur les Institutions chargées de la conservation du sol et des eaux de la Cuenca de la Vallée de México. Rapport de stage, ISTOM, 103 p + annexes.