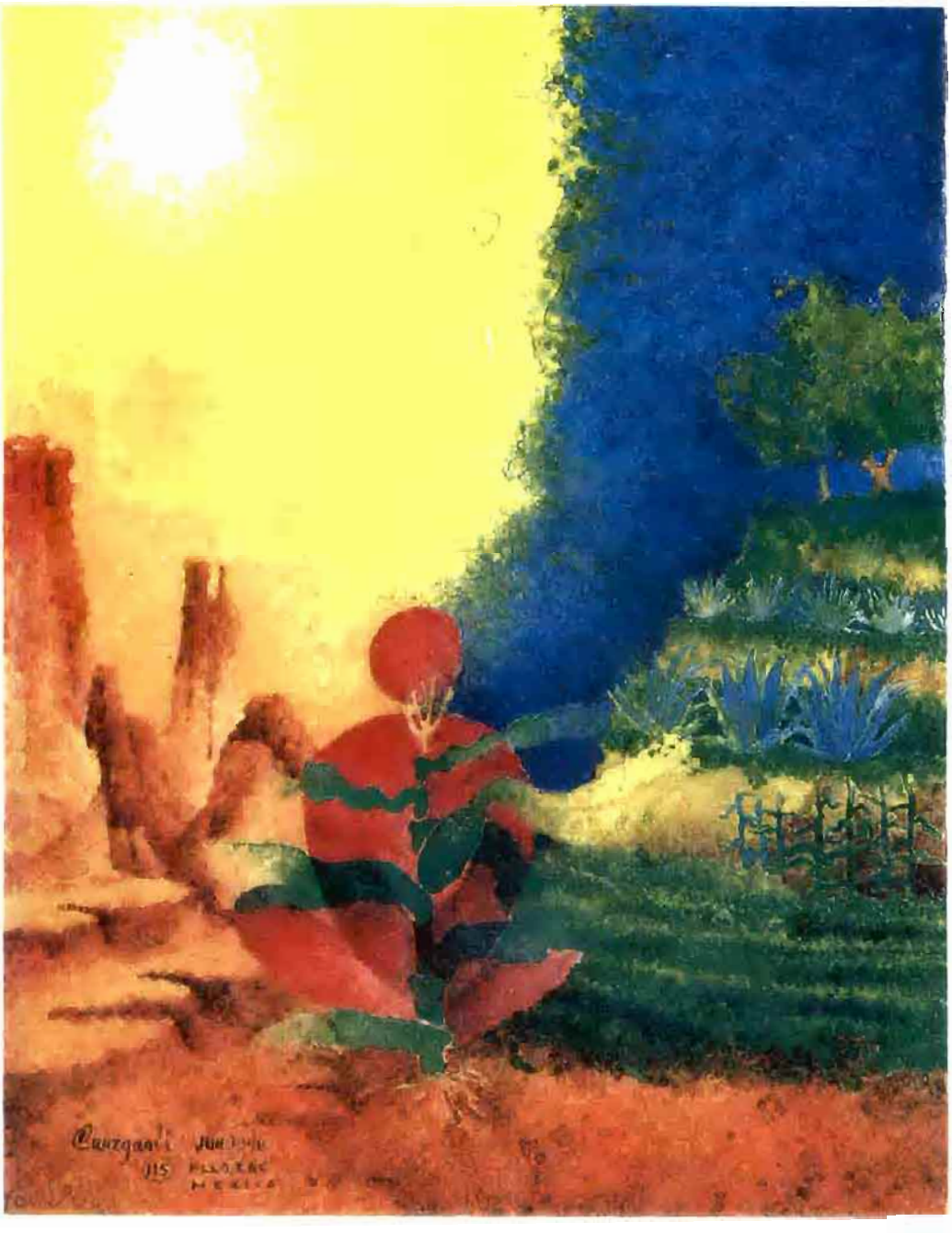
APTITUD PRODUCTIVA EN SUELOS VOLCANICOS ENDURECIDOS (TEPETATES)



Hermilio Navarro Garza, Henri Poupon,
Ma. Antonieta Pérez Olvera

La portada.

Creación con idea de la edición y obra del artista:

El hombre eterno transformador de la naturaleza,
Convergencia y producto de la naturaleza degradada y aquella en gestión
Agroecológica durable

Derechos Reservados ©
Colegio de Postgraduados. Montecillo, edo. de México y
ORSTOM. Ciceron 609. Col. Los Morales, 11530, México, D.F.
Ninguna parte puede ser reproducida, archivada o transmitida o cualquier otro procedimiento, sin permiso escrito por el Colegio de Postgraduados-ORSTOM

ISBN 968-839-249-9

agosto de 1998

APTITUD PRODUCTIVA EN SUELOS VOLCANICOS ENDURECIDOS (TEPETATES)

EDITORES

Hermilio Navarro Garza
Henri Poupon
Ma. Antonia Pérez Olvera

Agosto 1998

H2 000 85904 → 907
(4 ref)
11 DEC. 1998 2 ex FDI
Non Num
ORSTOM
Centre Documentation
MONTPELLIER
ORSTOM Documentation
F
010055970
068
PEDAIP
GAR

Agradecimientos

La versión final del libro fue producto de un equipo de trabajo coordinado por los Editores.
En particular agradecemos la colaboración editorial a:
Dr. Jorge Etchevers B. e Ing. Diego Flores S.

El trabajo final tuvo el apoyo considerable en diseño de figuras y captura de textos del:
T. Alejandro Santamaria R.

In memoriam

La pérdida de cualquier ser querido es de por sí un hecho lamentable, pero lo es más cuando se trata de un amigo querido y respetado por su bonhomía. La desaparición de Claude Zebrowski, Claude como cariñosamente lo llamábamos, en un lamentable accidente de aviación, nos ha dejado doblemente tristes, por un lado hemos perdido a un entrañable amigo y por otro a un destacado científico.

Desde su juventud, adscrito al Instituto Francés de Investigación Científica para el Desarrollo en Cooperación (ORSTOM), él dedicó gran parte de su vida a convivir con los profesionales del agro y los agricultores de los países en que promovió y realizó la investigación científica. El que Claude ya no este más con nosotros es un hecho dificil de aceptar para todos los que tuvimos la satisfacción de encontrarlo en nuestro camino y de participar de su amistad.

Su capacidad de comunicarse con los hombres de las más variadas condiciones y la fineza de modales que ostentaba lo llevaron a desempeñarse como un excelente diplomático y mediador. Su condición de humanista le permitió exhibir y ejercer, sin recato, su preocupación por los demás, actitud que lo llevo a lo largo de su vida a desarrollar una importante obra social y educativa, además de la cooperación científica, en países como Madagascar, Ecuador y México.

En Claude el optimismo era parte de su escénica, lo cual se reflejaba con frecuencia en palabras de aliento para quien solicitaba un consejo. Nunca percibimos que su disponibilidad no fuese inmediata para atender aquellas situaciones que eran de su incumbencia. Por todas estas cualidades y virtudes fue respetado y querido por los que lo conocimos de cerca.

Lo recordaremos siempre como un trabajador infatigable , que resistía largas jornadas bajo el ardiente sol y sin alimento alguno, pero al final de las duras jornadas a las que se sometía, después de la satisfacción que da el trabajo realizado, sabia disfrutar de los placeres simples de la vida; un buen vino o su inflamable cigarro. Lo recordaremos siempre como un excelente compañero, como un ser humano leal y como un entrañable amigo

En reconocimiento a su realismo agronómico y social, hombre científico que apoyó, desarrollo y aceptó los comportamientos del trabajo entre grupos, como condición de la creatividad interdisciplinaria. Una de sus obras es la dirección y participación en el Grupo Científico especializado en el conocimiento y rehabilitación durable de los tepetates.

Claude: Descansa en paz en el reino de quien amaste, respetaste y veneraste en tu paso terrenal

CONTENIDO

IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACION CIENTIFICA EN EL MARCO DEL PROYECTO DE COLABORACION CON LA UNION EUROPEA 1
Henri Poupon

INTRODUCCION 3

ORIENTACION Y PROBLEMATICA CIENTIFICA PARA LA REGENERACION Y CONSERVACION DE SUELOS VOLCANICOS ENDURECIDOS Y ESTERILES
Paul Quantin
Motivación 7
Objetivos 7
Caracterización, génesis y cartografía de suelos volcánicos con horizontes endurecidos y estériles 8
Los factores de fertilidad potencial de los horizontes endurecidos cultivados 9
Experimentación agronómica y productividad, 10
Análisis socioeconómico de la rehabilitación agrícola y de la reproducción forestal 12
Erodabilidad y conservación de suelos volcánicos endurecidos cultivados 14

LA FERTILIDAD DE LOS TEPETATES DEL EJE NEOVOLCANICO EN LOS ESTADOS DE MEXICO Y TLAXCALA
Jorge D. Etchevers B., Ma. Antonia Pérez O., Hortensia Brito V., Marilú Vargas I. Y Ulises López N.
Introducción 17
Materiales y métodos 19
Resultados 22
Discusión y Conclusiones 34
Bibliografía 35

POTENCIALIDADES AGRONOMICAS Y SISTEMAS ROTACIONALES PARA LA RECUPERACION DE SUELOS VOLCANICOS ENDURECIDOS
Hermilio Navarro G.
Introducción 37
Características de los suelos volcánicos endurecidos y su potencial agronómico 37
Posibilidades de un potencial agrícola y su riesgo por la erosión de un tepetate roturado 41
Referentes agronómicos en la producción de tepetates y posibilidades de interpretación del manejo rotacional 42
La producción durante la rotación de cultivos y conceptos útiles para su explicación 44
La producción de biomasa en los modelos rotacionales 47
A manera de conclusiones 57
Bibliografía 58

MODELOS MATEMATICOS DE EROSION HIDRICA PARA LA OPTIMIZACION DE LA REHABILITACION DE TEPETATES CON FINES AGRICOLAS
José L. Oropeza M. y J. Donaldo Ríos B.
Introducción 61
Objetivos 63
Descripción de los suelos y del área de estudio 63
Materiales y metodología 64
Resultados 68
Conclusiones 85
Bibliografía 87

EROSION DE UNA TOBA VOLCANICA ENDURECIDA EN PROCESO DE REHABILITACION. Christian Prat, Aurelio Báez, Eduardo Ascencio y Alfonso Marquez
Introducción 89
Metodología 89
Características de las precipitaciones 91
Escurrimiento y transporte de materiales sólidos 92
Conclusiones 95
Bibliografía 96

ELEMENTOS METODOLOGICOS Y ESTUDIOS SOCIOECONOMICOS EN SUELOS VOLCANICOS ENDURECIDOS.
Hermilio Navarro G., Salvador Muñoz A., Felipe Olivares R.y Christian Prat
Introducción 99
Propuesta metodológica para el estudio socioeconómico de la erosión y de los suelos volcánicos endurecidos 100
Organización de sistemas de aprovechamiento de recursos y estrategias de reproducción 107
Análisis económico de diferentes rotaciones con supuestos comparativos 111
La estructura y funcionamiento de los sistemas económicos familiares 112
Conclusiones 121
Bibliografía 123

APORTES CIENTIFICOS PARA LA PROBLEMATICA AGROECOLOGICA DE LOS TEPETATES

Alcances del estudio: Diagénesis, Pedogénesis y Morfogénesis de capas cementadas 127
David Flores R., Alma Velazquez R. y Otilio Acevedo S.

Diagnóstico nutrimental y pérdida de nutrientes 133
Andrea Vera, Ulrich Fetcher E., Gerd Werner, Jorge Etchevers, B., Hortensia Brito V.

Características físicas, potencial hidrológico y producción de sedimentos 142
Pedro Rivera R., José L. Oropeza M,. Maria Alcala, Gustavo Flores G., Ulrich Fetcher E., José Salalzar L., y Donaldo Rios B.

Primo Muñoz T., Ulrich Fecher E., Tehozol Ixtlapala, Dionicio Benitez M., Hermilio Navarro G., Diego Flores S. y Antoria Pérez O.

IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACION EN EL MARCO DEL PROYECTO DE COLABORACION CON LA UNION EUROPEA

Henri Poupon

La investigación científica y tecnológica se globaliza día con día. Las causas de esta evolución son múltiples. La mundialización sin precedente de los intercambios entre investigadores se ve favorecida por los avances en materia de información y una tendencia generalizada hacia su integración total. Surgen nuevos polos de investigación de excelencia en diferentes puntos del globo. Problemas cruciales para el devenir de la especie humana, tales como la salud, la alimentación, la educación y el medio ambiente, adquieren una dimensión planetaria, son los grandes temas del futuro. Pero cabe recordar que el futuro es ya el presente con temáticas sobre el espacio, las soluciones sustentables para el consumo de energía, la preservación de los recursos naturales, el control de los riesgos biotecnológicos, entre otros; que implican costos de investigación que requieren llevar a cabo acciones a nivel internacional.

Desde hace varios años, Europa y México se han colocado de manera decidida dentro de esta perspectiva, Europa-ya sea a nivel de la Unión o de los estados miembros, busca ocupar dentro de los países industrializados un lugar clave, a nivel de la implantación de políticas aplicadas en el mundo entero a favor del desarrollo. Desde 1982, la Unión Europea inició una cooperación con los países en vía de desarrollo basada en asociaciones de investigación, orientada principalmente hacia los problemas de salud y de manejo de los recursos naturales renovables, poniendo particular énfasis en la actividad agrícola y agroalimentaria.

En México, el desarrollo acelerado descansa en avances espectaculares registrados en ciertos campos tecnológicos. El país cuenta con un enorme potencial económico, forma parte de un grupo nuevo de países con los cuales Europa pretende establecer vínculos específicos de cooperación tecnológica y científica. Dentro de este contexto, se desarrolló la colaboración México y la Unión Europea en materia de recuperación de los Suelos Volcánicos Endurecidos.
En el marco de un primer proyecto (1989-1992), la Unión Europea concretó su colaboración con el financiamiento de 350 mil ecus y Francia, por medio de ORSTOM, aportó un financiamiento en apoyo a dicho proyecto por un monto equivalente.

Con base a los resultados obtenidos durante esta primera fase, la Unión Europea accedió a las peticiones de los científicos mexicanos quienes, contando con el apoyo de instituciones europeas (alemanas y francesas), pretendían extender los trabajos con el fin de darle un impacto regional que abarcara la zona comprendida desde México hasta Chile, incluyendo la zona montañosa de América Latina.

Con el fin de enfrentar tan ambiciosos retos, Europa otorgó entre 1994 y 1997, apoyo financiero por 460 mil ecus, el ORSTOM ratificó su colaboración y liderazgo científico, también la responsabilidad de la gestión del mismo.

Actualmente, al final de esta segunda etapa, me agrada poder conocer en este Seminario Internacional sobre Suelos Volcánicos Endurecidos, los resultados de los trabajos desarrollados en el terreno científico, motivado en lo personal y considerando que el Colegio de Postgraduados, al igual que el ORSTOM, pretende ser una institución preocupada por llevar a la práctica sus realizaciones.

Lo anterior, porque hoy más que nunca los científicos deben estar plenamente conscientes de que sus trabajos deben lograr mejorar las condiciones de vida de quienes compartimos el planeta. Ya que todos los aquí presentes sabemos que sin este desarrollo sustentable para el cual debemos trabajar a través de los cinco continentes, la tierra no alcanzará la paz y armonía necesarias.

INTRODUCCION

Los suelos volcánicos endurecidos son tipos de suelos con horizontes de elevada cohesión, situados a profundidades variables. Los procesos erosivos generalizados en nuestras eco-regiones Latinoamericanas han degradado extensamente los suelos volcánicos, ocasionando importantes perdidas de los horizontes superficiales, como consecuencia se induce la aparición en superficie de esos horizontes profundos o subyacentes, entre ellos abundan los que son físicamente endurecidos. Según Zebrowski, (1992) los materiales origínales están constituidos por proyecciones piroclásticas bajo forma de lluvias, o bien por flujos. El endurecimiento puede ser de origen geológico o pedológico, éste último con aporte de cementantes como carbonato de calcio o sílice.

La importancia de los suelos volcánicos entre los países de Mesoamérica y América del Sur, que colindan con el Pacífico, ascienden a un millón cuatrocientos mil km2; los cuales son equivalentes al 23.2% de su superficie (Zebrowski, 1992).
A otro nivel, el mismo autor estima mediante planimetría en el eje Neovolcánico mexicano, una superficie de un millón setenta mil hectáreas de suelos volcánicos endurecidos, o sea 27% de la superficie del mismo. Como consecuencia de la erosión de estos suelos, la cual se evalúa de intensidad particularmente grave: como ejemplo estima que en el estado de Tlaxcala la exposición de suelos volcánicos endurecidos o tepetates ya cubre el 54% de la superficie de los mismos.

Recientes avances sobre su conocimiento han permitido explicar su origen, naturaleza y comportamiento, que han posibilitado la selección de criterios para su clasificación, entre las cuales; Werner, (1988) reporta la identificación en Tlaxcala, México de cuatro tipos de tepetates. Por su parte Peña y Zebrowski, (1992) proponen la existencia de siete tipos de tepetates, entre los cuales de nuestro particular interés se tienen: la matriz de tepetates del tipo T2 y T3 con y sin carbonato calcio; las brechas sedimentarias sin $CaCO_3$ y las terrazas agrícolas de tepetates recuperados en sistemas diferentes de manejo.

La importancia territorial de los suelos volcánicos y de aquellos con horizontes endurecidos, en uso actual y potencial, genera inquietud sobre la problemática de la aptitud productiva de los tepetates, la cual ha tenido quizá su origen en el potencial que induce para ser interpretada desde la perspectiva de diversas disciplinas y enfoques de las mismas.
En diversas circunstancias se ha constatado que según las orientaciones ecológicas podría considerarse como un suelo degradado, quizá incluso estéril, producto causal de un manejo inadecuado del ecosistema, que ha privilegiado la eficiencia de gestión de poblaciones o comunidades. En su caso, los tepetates frente al proceso de transformación y deterioro de sus productividades biológicas, hechos frente a los cuales los conceptos de las ciencias naturales adolecen sensiblemente de un cuerpo teórico para explicar las interacciones del agrosistema con las prácticas de uso que lo determinan.

Para la agronomía, desde la perspectiva del enfoque de sistemas de cultivo, los tepetates conllevan hacia el planteamiento de una problemática estructurada por la identificación de sus principales limitantes agroecológicas, que justifican el conocimiento, diseño y evaluación de alternativas disciplinarias de gestión territorial, sustentada en las estructuras parcelarias agropecuarias y forestales en un sentido genérico.

Desde nuestro punto de vista, su categoría analítica para el conocimiento de los tepetates son los sistemas parcelarios, tanto como unidades territoriales concretas y sintéticas en los que interaccionan los sistemas sociales y ecológicos a través de comportamientos tecnológicos, entre los más significativos; tanto como lectores y producto de su manejo precedente que explica en forma determinante sus aptitudes actuales y potenciales; finalmente como configuradores en la dinámica de su cotidianidad, de aquellas prácticas productivas y culturales necesarias para remediar y mejorar la calidad y aptitud productiva de los sistemas agrarios regionales.

Las ciencias sociales, en su caso, de acuerdo a ciertos enfoques de la economía institucional y la antropología, los puedan considerar como recurso y producto de complejos sistemas organizacionales, en numerosos casos dominando su conocimiento en la historia de la propiedad de los recursos y las relaciones sociales que las determinan. Las orientaciones actuales sobre los grupos locales y regionales de poder y sus comportamientos a través de formas de aprovechamiento prometen a corto plazo. Una problemática actual nos acerca a mejorar la explicación de las transformaciones agrarias y de la tendencia casi inexorable, ayer y hoy, de numerosas conductas sociales de menosprecio ético para la calidad de gestión y aprovechamiento de la naturaleza.

La tragedia histórica ha ocurrido en varias sociedades y está sin duda bien documentada. Ha sido ocasionada por el uso irracional de sus recursos y su efecto de retorno también ha sido inexorable. En la actualidad se amplifica por la magnitud creciente de utilización de los mismos y por la ausencia de políticas realistas para velar por su adecuada utilización colectiva. La lección histórica no la deberíamos olvidar. Sin embargo, poco se ha valorado para fundamentar políticas para favorecer efectivamente un desarrollo regional y durable.
Las consecuencias originadas por los excesos de las formas modernas de utilización de los recursos son múltiples y mal comprendidas en sus efectos actuales y fundamentalmente a futuro, por la falta de recursos para modelizar escenarios preventivos locales y regionales. De nuestro interés podemos ilustrar los impactos degradativos sobre: los suelos, la fragilización del ciclo del agua, la ruptura y empobrecimiento de los ciclos biogeoquímicos, sin duda los impactos severos sobre la biodiversidad e incluso, los efectos de deterioro sobre las culturas locales, contemporáneas y tradicionales.

Los logros de la investigación referentes al conocimiento y gestión de la aptitud productiva de los suelos volcánicos endurecidos se configuran en forma inicial con un primer capítulo sistemático e integral, con base en los elementos explicativos de la naturaleza de los suelos volcánicos endurecidos.
La capacidad científica del autor y su prestigio internacional, nos permitieron valorarlo en términos de una propuesta hacia el estado del arte de los suelos volcánicos endurecidos.

La especialización disciplinaria de los Grupos de investigadores participantes, contribuyeron a identificar y seleccionar *a-priori* los atributos esenciales del sistema tepetate imbricado en varios niveles de complejidad. La técnica utilizada consistió en varios talleres durante el desarrollo del programa, para intercambiar experiencias, resultados y conocimientos adquiridos.
Para iniciar los diseños de protocolos e intentar articulaciones interdisciplinarias se ponderaron las experiencias obtenidas en parcelas de agricultores, y los conocimientos y opciones de rehabilitación con base en sus restricciónes ecológicas, tanto bioticas como abioticas.
En consecuencia, los especialistas propusieron criterios para la roturación, manejo, evaluación y validación de estrategias de mejoramiento físico, químico y biológico de los tepetates.

En el ámbito de una diversidad de conceptos y metodologías, se propusó el mejoramiento nutrimental del ecosistema, de acuerdo a un diagnóstico de la fertilidad de los suelos. Así como el balance y control del suministro de nutrimentos.
El diseño específico y los resultados de protocolos experimentales relativos a la evaluación de reservorios de nitrógeno y la dinámica del mismo son analizados, además de sugerirnos modos de gestión para favorecer su enriquecimiento.
Frente a la problemática de las restricciones microbiológicas en los tepetates, se realizaron protocolos diferentes. Uno de ellos, relativo a la inoculación de microorganismos simbióticos para el estudio del efecto de bacterias fijadoras de nitrógeno con *Rhizobium*. Entre los tratamientos: se utilizaron varias leguminosas; con o sin adición de abono orgánico.

Los resultados son indicativos de respuestas favorables para la gestión biológica de los sistemas de cultivo. En otros casos, intuimos que ciertas condiciones particulares en campo, tales como sequía despues de la siembra, quizá efectos de agroquímicos, otros; causaron confusión en algunos tratamientos que deberán ser replicados para concluir sobre las tendencias esperadas, y las obtenidas en la producción de biomasa.
El análisis de la dinámica de la materia orgánica, del nitrógeno y de la actividad microbiana, en función de la edad de las parcelas cultivadas, fue un estudio que contribuyó a probar una cierta correlación entre el incremento del reservorio orgánico y la tasa de nitrógeno mineralizable y lábil, así como de la actividad microbiana.
Incluso los autores nos sugieren que los tepetates constituyen importantes reservas de tierra, las cuales con inversiones moderadas pueden ser habilitadas para la producción agrícola.

Una metodología alternativa para el conocimiento empírico de los tepetates en utilización, privilegió en una primera etapa, el estudio de los tepetates cultivados en medio campesino en función del número de años de cultivo. Nos permitió confirmar la hipótesis inicial, según la cual el potencial de fertilidad y la aptitud productiva se desarrollan correlacionados en tendencia positiva con el número de años de uso agrícola del tepetate roturado.
Sin embargo, tales resultados son validos cuando no intervienen otros factores limitantes, se analiza la variabilidad interanual de años climáticos; la irregularidad y la insuficiencia de los abonos orgánicos y la fertilización mineral, entre otros. De hecho, en resultados posteriores se plantea el efecto del manejo agronómico y de la oportunidad de las prácticas culturales en los resultados obtenidos de biomasa.
Las evaluaciones sustantivas se realizaron en la perspectiva de prototipos rotacionales, integrando supuestos sobre: el tiempo de uso agrícola del tepetate durante cinco años, que se le llamó "edad", la evaluación durante varios años climáticos para integrar la variabilidad de sus efectos e interpretarla como "una productividad alcanzable". Para ello, considerando el desarrollo de su potencial en el tiempo y explicada bajo las condiciones del modelo propuesto de sistema de cultivo, con base en el manejo precedente y los efectos siguientes.
La generación de potenciales de respuesta se basó en: la matriz de los cultivos locales representativos, es el caso de: maíz, trigo, la asociación maíz-frijol y maíz-haba, entre las más importantes. Algunos cultivos o manejos alternativos se ensayaron con: veza, avena, aplicaciones de abono orgánico, fertilización "starter", inoculaciones; entre varias opciones evaluadas.
Las productividades rotacionales de biomasa que se lograron, validadas en su diversidad y potencialidad, según las modalidades de prototipos evaluados, nos aseguran la validez de los modelos utilizados para su validación regional e incorporación en los proyectos de remediación, necesarios hoy.

La problemática de la erodabilidad y conservación de suelos volcánicos endurecidos cultivados, por una parte se orientó hacia la investigación de la erosión, la cual consiste en la medición de la erosividad de las lluvias, del escurrimiento superficial y de la pérdida de tierra. Esta fue complementada con observaciones de los estados de superficie, y sus efectos sobre el escurrimiento y erosión; tanto con lluvias naturales, como con lluvias simuladas.
Un protocolo se realizó durante 4 años, de 1993 a 1996. La comparación se realizó entre un suelo agrícola, el tepetate natural y el cultivado. Otro utilizó tres tratamientos de labranza: tradicional en surcos: labranza mínima con y sin cultivo intercalado de leguminosa. La labranza mínima con cultivo intercalado fue tan eficaz como la labranza tradicional.
Los resultados nos sugieren resolver en el proceso de la rehabilitación de los tepetates el control de los escurrimientos superficiales, dentro de la parcela y/o cuenca agrícola, considerando que es paradójico reconocer que la rehabilitación de los tepetates puede ser inadecuada, si la erosión en los propios tepetates en proceso de rehabilitación no se controla.

Frente a la complejidad del conocimiento socioeconómico que explique las modalidades de uso de los recursos, el o los porque de su calidad de uso, las condicionantes y determinaciones económicas y culturales. Se optó por el análisis empírico de las unidades gestoras del medio, es decir el propósito fue realizar un análisis del funcionamiento de las modalidades de sistemas de producción existentes.
En su caso, identificar algunos atributos socioeconómicos de los mismos, además de los inherentes al sistema de producción, con la finalidad de tratar de comprender las lógicas de tomas de decisiones de su funcionamiento productivo; así como ampliado y más complejo, que puede combinar las actividades propiamente productivas, con otras como: el jornalerismo local o regional; actividades a domicilio entre los miembros como la costura a domicilio, o comerciales como son las multiples tiendas familiares rurales; la sin duda importante y cada vez más frecuente migración temporal o permanente y sus relaciones de flujos económicos con la familia. Esta unidad de análisis se denominó sistema económico familiar (SEF).
El producto esperado del análisis de funcionamiento de los sistemas era la clasificación de Sistemas Económicos familiares (SEF), con el objetivo de evaluar el interés del uso de tepetate o cangahua como recurso suelo, así como conocer la problemática socio-económica y cultural de su uso agrícola.
Los resultados muestran, entre varios de interés para favorecer programas de remediación concretos, varias insuficiencias elementales de gestión tecnológica común, por ejemplo para la formulación de dosis de fertilización por balance con el fin de enriquecerlos y no degradar su estado nutrimental, la escasa disponibilidad de recursos productivos y de tecnología apropiada demerita el interés de su manejo y lo subordina a otras actividades económicas, frecuentemente realizadas fuera del sistema de producción.

Finalmente, retomando como indicativas algunas propuestas de la reunión de 'S-Hertogenbosch, en 1991, entre los elementos para una estrategia sobre la agricultura y el medio ambiente se recomendó:
i/ crear un adecuado marco normativo con objetivos de: aumentar las opciones de la población para que no haya necesidad de dañar el medio ambiente, ii/ Crear las condiciones requeridas para que las fuerzas del mercado operen de manera eficaz, al mismo tiempo que se adoptan las medidas correctivas.

Los editores

Montecillo, Texcoco, 17 de agosto de 1998.

ORIENTACION Y PROBLEMATICA CIENTIFICA PARA LA REGENERACION Y CONSERVACION DE SUELOS VOLCANICOS ENDURECIDOS Y ESTERILES

Paul Quantin

Hermilio Navarro, Henri Poupon y Ma. Antonia Pérez

ORIENTACION Y PROBLEMATICA CIENTIFICA PARA LA REGENERACION Y CONSERVACION DE SUELOS VOLCANICOS ENDURECIDOS Y ESTERILES

Hacia el Estado del Arte para la Regeneración y Conservación de Suelos Volcánicos Endurecidos

Paul Quantin

Motivación

La meta de este programa de investigación fue determinar las condiciones sostenibles de la rehabilitación agrícola de los horizontes endurecidos y estériles de los suelos volcánicos, que afloran en la superficie por efecto de erosión, en varios países de América Latina.
Este programa integró las experiencias de un precedente titulado " Estudio de Suelos Volcánicos Endurecidos "tepetates", realizado en las cuencas de los estados de México y Tlaxcala, con la perspectiva de su rehabilitación agrícola.
Como consecuencia del interés de los resultados del primer programa, para el desarrollo de las regiones volcánicas muy pobladas en América Latina, la Comisión Europea nos sugirió extender nuestra investigación a otras regiones y países, de los cuales elegimos Ecuador y Chile, donde se tenían relaciones científicas. Además, se decidió diversificar y profundizar nuestra experimentación en México, con el objetivo de responder con una mejor adecuación a las condiciones de un desarrollo sostenible. Se trató de tomar en cuenta las condiciones físicas, agro-biológicas, socio-económicas y culturales de estas regiones, para proponer soluciones adecuadas.

Objetivos

La investigación se limitó a los "tepetates" del Altiplano Central de México y a la "cangahua" del Valle Interandino de Ecuador; el estudio de los andosoles del sur de Chile (Valdivia) fue muy restringido. En México y en Ecuador se plantearon seis objetivos:

1.- Caracterización, génesis y cartografía de los horizontes endurecidos de suelos volcánicos, a fin de conocer su origen, sus propiedades y su extensión.
2.- Los factores químicos de la fertilidad potencial de los horizontes endurecidos cultivados, materia orgánica y nitrógeno, actividad microbiana y microorganismos simbióticos, evolución de estos factores con el tiempo.
3.- Experimentación agronómica y productividad orientado a la eficiencia de la fertilidad mineral y orgánica, la inoculación de microorganismos simbióticos, la evaluación de alternativas económicas y sostenibles, ensayo de cultivos, evaluación de prototipos rotaciónales de cultivos y opciones para un manejo adecuado de las practicas culturales.
4.- Análisis socioeconómico de la rehabilitación agrícola y forestal de los horizontes volcánicos endurecidos, investigación de unidades de producción rurales como Sistemas Económicos Familiares, la rentabilidad de la producción agrícola y de la reforestación.

5.- Erodabilidad y conservación de suelos volcánicos endurecidos cultivados, erosividad de las lluvias, medición del escurrimiento y de la erosión con el efecto de varios tratamientos de cultivo y de conservación, impacto de la evolución de los estados de superficie con el efecto de estos tratamientos.
6.- Observación del funcionamiento hídrico de tepetates naturales y cultivados, evaluación de la reserva hídrica, análisis de los flujos de elementos en suspensión y en solución.

En el sur de Chile, el objetivo fue único y más específico: evaluar la aptitud a la erosión de los andosoles recientemente sometidos a una explotación agro-pastoril.

Caracterización, génesis y cartografía de suelos volcánicos con horizontes endurecidos y estériles

El tema compete a la problemática que plantea la necesidad de conocimiento de base, para fundamentar los principios de la experimentación y luego su aplicación.

En México.

En el Valle de México y la región de Tlaxcala se realizó un estudio detallado, de 1989 a 1992, el cual posteriormente continuó hasta 1995.
A la fecha se tiene la distribución clara de los tepetates según topoclimosecuencias, así como la estratigrafia de los depósitos volcánicos, de los cuales provienen, y su cartografía (Peña y Zebrowski, 1992; Werner, 1992).
Posteriormente la tésis de Hidalgo (1995), permitió explicar el endurecimiento de los tepetates de tipo "fragipan" sobre los cuales se hizó nuestra experimentación, explicando que la fuerte "cohesión" al estado seco se debe a un "empacamiento cara a cara" de las arcillas y una intercalación de un poco de sílice no cristalino.
Análisis de imágenes del satélite LANDSAT. El análisis basado sobre mapas y criterios de distribución de tepetates, establecidos anteriormente, permitió elaborar un modelo de cartografía de tepetates. En adición una recolección de datos de la UNAM y del INEGI a permitido experimentar un Sistema de información Geográfica en el dominio de los tepetates del altiplano central mexicano, el cual podría ser útil para la valoración de nuestros resultados.

En Ecuador:

La investigación se realizó de 1993 a 1996, en tres etapas: caracterización, cartografía y, evaluación de los afloramientos de tepetates por teledetección .
La caracterización y génesis. La cangahua aflora sobre los pie de montes del Valle interandino, entre 3200 y 2400 metros de altura, al igual que en el caso del tepetate, sus propiedades cambian según una topoclimosecuencia, arriba con un clima subhúmedo, es friable de tipo fragipan; abajo con un clima subárido, es duro, un poco silisificado y calcáreo, de tipo duripan cálcico. Su formación es anterior a la del suelo actual, al menos de 14,000 años a.c. de edad o más. Se observan dos o más horizontes de cangahua que se intercalan en una sucesión de depósitos volcánicos.

Cada cangahua proviene de una toba volcánica alterada en la base de un paleosol. Sus propiedades cambian según su situación en la toposecuencia, de un fragipan arriba a una duripan cálcico abajo. Es sobre todo esta formación un poco cálcica que esta localizada en nuestras estaciones experimentales.

La cartografía. El mapa de suelos con cangahua, aflorando o subaflorando, ha sido actualizada por Zebrowki (1996) y sintetizada en una hoja única a escala 1/400,000. La superficie de suelos con cangahua es de 2400 kilómetros cuadrados, lo que corresponde a un 37% de las tierras cultivadas del pie de monte del Valle interandino, de Colombia hasta Riobamba. Las áreas erosionadas con cangahua se ampliaron en 300% en los últimos tres años, hoy provocando que este problema sea muy serio.
Evaluación de los afloramientos de cangahua a partir de imágenes *SPOT*: Un primer análisis de 5 imágenes SPOT ha permitido elaborar las áreas de cangahua aflorado al 100%, así como otros temas. Una comparación multitemporal entre imágenes de 1986 a 1995 en la región de Quito a confirmado el desarrollo rápido en 10 años, de las áreas de congahua continua (x3) o discontinua (x2). La evaluación global de las áreas con cangahua de Valle interandino se acercan a 2,600 kilómetros cuadrados, es decir, un valor cercano al obtenido por la cartografía "clásica". Pero la tasa de recubrimiento de los dos métodos no es perfecta: 30% de las áreas son diferentes. Se aprecia como necesario seguir mejorando la técnica de teledetección.

Los factores de fertilidad potencial de los horizontes endurecidos cultivados

Los factores iniciales.

Durante el primer programa se determinaron los principales factores que limitan la fertilidad de los tepetates así como los que son favorables después de una compensación de los primeros.
Los factores limitantes: se clasifican como:
Físicos: Compacidad y dureza, macroporosidad y permeabilidad muy restringidas, factores que impiden la penetración de agua, aire y raíces.
Químicos: Carencia en materia orgánica, nitrógeno y fósforo aprovechable; eventualmente la alcalinidad de los tepetates calcáreos.
Biológicos: la esterilidad y la carencia de microorganismos simbióticos, como bacterias fijadoras de nitrógeno o micorrizas, la asimilación del fósforo mineral dio por otra parte la carencia del humus, que es necesario para la actividad microbiana y el mejoramiento de las propiedades físicas del suelo.

Los factores favorables son:

Fisico-químicos: la presencia notable de arcillas con una muy fuerte actividad de superficie, asegurando una buena capacidad de retención de agua y nutrimentos, así como la cohesión de los agregados después de la fragmentación del tepetate;
Químicos: la abundancia de bases intercambiables, como de Ca, Mg, K, y de ciertos microelementos útiles para la planta.
Después de la fragmentación de agregados de tamaño óptimo (2-5 mm de diámetro) y la corrección de las carencias de N y P, los tepetates tienen una buena productividad. El mismo comportamiento es para la cangahua del Ecuador, lo cual se ha probado mediante ensayos en invernadero y en campo.

Evolución y mejoramiento de los factores de fertilidad.

Durante el segundo programa en México, nos propusimos observar un mejoramiento del potencial de fertilidad en los tepetates cultivados en función del número de años de cultivo: por el incremento del contenido de humus, nitrógeno "lábil" y fósforo aprovechable, así como por el desarrollo de la actividad microbiana y por la inoculación de microorganismos simbióticos. Un complemento se tuvo con los estudios de la evolución de algunas propiedades físicas del tepetate cultivado y el desarrollo de las raíces de varios cultivos.
El estudio del estado nutrimental y productividad de los tepetates cultivados en medio campesino, en función del número de años de cultivo, nos permitió confirmar la hipótesis según la cual el potencial de fertilidad y la productividad van creciendo con el número de años del cultivo, se evaluaron parcelas con 1 a 60 años de recuperación. Sin embargo intervienen otros factores, especialmente la irregularidad y la insuficiencia de los abonos orgánicos y minerales en la agricultura tradicional, y el manejo agronómico de los cultivos.

El análisis de la dinámica de la materia orgánica, del nitrógeno y de la actividad microbiana, en función de la edad de las parcelas cultivadas, fue un estudio que contribuyó a probar una cierta correlación entre el incremento del reservorio orgánico y la tasa de nitrógeno mineralizable y lábil , así como de la actividad microbiana
La inoculación de microorganismos simbióticos con base en el estudio del efecto de bacterias fijadoras de nitrógeno, por medio de la inoculación con *Rhizobium* en varias leguminosas, con o sin adición de abono orgánico, debido a las pruebas obtenidas sobre su necesidad y las respuestas estimadas previamente para obtener mejores resultados en biomasa
A condición de verificar las condiciones de terreno y replicar los protocolos, las evidencias muestran que la inoculación de *Azospirillum* en maíz no fue eficaz.
La evaluación de endomicorrizas del género *Glomus* se realizó mediante la inoculación de estas especies sobre varias plantas, con o sin abono orgánico, dando resultados satisfactorios en *Eisenhardtia polystachia* y la cebolla (*Allium cepa*), pero no con el maíz. Esta experimentación debería proseguir con variedades de *Glomus* más específicas.

Experimentación agronómica y productividad

Protocolos y alcances en México.

En México se probaron durante seis años (1991-1996) algunas prácticas tradicionales, asi como prácticas alternativas con la finalidad de incrementar la productividad y la rentabilidad de los sistemas de cultivo, seleccionados como representativos de los sistemas económicos familiares locales.

La evaluación de prácticas y dosis de fertilización orgánica o mineral e inoculación con simbiontes, en las cuales los objetivos fueron: comparar la eficacia de la fertilización orgánica y de la mineral, así como probar el efecto de la inoculación de microorganismos simbióticos. El propósito fue de probar eficiencias biológicas y evaluar las productividades, en su caso la optima y a bajo costo, de acuerdo a condiciones locales de disponibilidad de recursos.

Las evaluaciones se realizaron en los cultivos locales representativos, es el caso de maíz, trigo, la asociación maíz-frijol y maíz-haba, entre las más importantes. Algunos cultivos o manejos alternativos se ensayaron con: veza, avena, aplicaciones de abono orgánico, fertilización "starter", inoculaciones diversas e interacciones de varios tratamientos.
Entre los resultados obtenidos destaca que: la inoculación de *Rhizobium* es solamente eficaz cuando se ubica junto a una dosis moderada de abono orgánico; el efecto del abono orgánico es amplificado por un abono mineral a dosis "starter".
La combinación de las dosis de abono orgánico y fertilización "starter" y de la inoculación podría ser una alternativa económica en lugar de la fertilización mineral sola. Los resultados de producción de materia seca-grano de la asociación graminea-leguminosa (trigo-medicago o maíz-haba) son sensiblementes más productiva que el monocultivo, en tepetate con varios años de uso agrícola..

Efecto del número de años de cultivo.
En esta investigación el objetivo fue evaluar si la productividad de los tepetates aumenta conforme aumentan los años de cultivo. La investigación fue hecha en ensayos realizados de 1991 a 1996. En principio, en la primera etapa del programa la hipótesis proponía la correlación entre el número de años de rehabilitación del tepetate asociado al desarrollo de su aptitud productiva. Sin embargo, en la segunda etapa se cuestiono la hipótesis debido a la presencia de factores de riesgo de la producción. Entre estos los climáticos: especialmente una sequía excepcional o una helada precoz; en segundo lugar se demostró que es necesario mantener la fertilización mineral y orgánica a un nivel suficiente, teniendo en cuenta que su acumulación y su efecto residual es muy limitado. Los resultados de la segunda etapa condicionan los alcances de la hipótesis, no obstante son complementarios e indicativos de elementos necesarios para una reformulación de la misma.

Efecto del cultivo precedente.
Los resultados demuestran que la producción es más alta después de un cultivo de maiz asociado con haba que con un precedente trigo. Seguramente debido a un efecto residual de la leguminosa (por fijación de nitrógeno); también los resultados nos sugieren que puede ser rentable con trigo o cebada.

La estimación de rentabilidad en la fertilización moderada.
Los resultados indican que la fertilización mineral u orgánica es rentable en avena o frijol, pero no para el maíz, debido a que este cultivo necesita una dosis mayor que la recomendada, como condición para obtener una buena eficiencia reproductiva. En su caso, no es productiva ni rentable una fertilización moderada.

Experimentación de prácticas agronómicas para el cultivo de maíz.
En éstas evaluaciones se probaron varias prácticas: A) profundidad de labranza de 40/60 cm., determinándose que con 40 cm son suficientes. B) Labranza tradicional en surco versus labranza mínima: se evaluó el problema de la labranza mínima que es el riesgo de acame de las plantas. Se sugiere continuar esta evaluación y/o cambiar el modo de siembra. C) Surcos simples/contreo: efecto variado según las especies. Positivo para el haba , nulo para el maíz, no obstante se sugiere continuar la evaluación. Cultivos asociados de gramineas con leguminosas/monocultivo; el efecto de los cultivos asociados es globalmente positivo.

Protocolos y alcances en Ecuador.

La experiencia fue más modesta en comparación a las actividades realizadas en México.
Las evaluaciones se realizaron durante dos años: 1994-1995 y 1995-1996. La comparación de resultados se realizó entre dos estaciones: La Tola en clima húmedo, y la estación Cangahua en clima subárido, en ésta última se aplicó riego de auxilio..
En las dos estaciones se comparó el abono orgánico con la fertilización mineral , ambos asociados, con dosis similares a las de México. Entre los resultados se observó que el maíz produce más con abono orgánico y riego en clima subárido, que en clima subhúmedo. No obstante, un factor de confusión llevó a tratar de precisar si fue un problema climático o varietal.

Un ensayo en la comunidad campesina de Licto, en la Provincia de Riobamba, mostró que la productividad de la cebada puede ser buena desde el primer año de cultivo en condiciones moderadamente costosas, es decir en terrazas con pendiente reducida por un muro de bloques de cangahua, fragmentación semigruesa por una labranza única. Se apreció que la rehabilitación agrícola puede ser productiva con un costo moderado.

Análisis socioeconómico de la rehabilitación agrícola y de la reproducción forestal.

La metodología se orientó hacia la selección y estudio de las condiciones agroecológicas locales y la identificación de los riesgos más importantes. Se privilegió la realización de entrevistas a informantes clave, autoridades y de encuestas generalizadas en las localidades seleccionadas, con el fin de precisar criterios de selección de unidades familiares, desde la perspectiva de la diversidad existente desistemas de producción.
El propósito fue realizar un análisis del funcionamiento de diferentes modalidades de sistemas de producción existentes; en su caso identificar algunos atributos socioeconómicos de los mismos, además de los inherentes al sistema de producción, con la finalidad de tratar de comprender, en su caso, su funcionamiento ampliado y más complejo que puede combinar con las actividades propiamente productivas, otras como el jornalerismo local o regional, actividades a domicilio entre los miembros como costura o comerciales como son las multiples tiendas familiares rurales, la cada vez más frecuente migración temporal o permanente y sus relaciones económicas con la familia. Esta unidad de análisis se denominó sistema económico familiar (SEF).
El producto esperado del análisis de funcionamiento de los sistemas era la clasificación de los SEF, con el objetivo de evaluar el interés del uso de tepetate o cangahua como suelo; así como conocer la problemática socio-económica y cultural de su uso agrícola.

En México. Después de dos series de encuestas de la primera etapa en los estados de Tlaxcala y México, la investigación fue reformulada y ampliada hacia otras regiones del eje Neovolcánico, éstas en los estados de Tlaxcala, México, Michoacán y Jalisco. Resultados genéricos nos muestran la gran variación en el interés del tepetate como recurso suelo, así como en las estrategias de su uso.
En Ecuador. La investigación se realizó de una manera sistemática sobre el conjunto de las áreas con cangahua del Valle Interandino, en particular en dos comunidades de referencia al norte del Ecuador: Cayanbe y Bolivar.

En complemento a las acciones realizadas en México y Ecuador, se realizó una encuesta sobre la repoblación forestal de las áreas con tepetate o cangahua.

Los principales resultados nos muestran que en ambos países, las regiones de estudio son muy pobladas y pobres, con una producción agrícola tradicional, la cual asegura principalmente el autoconsumo y la supervivencia. Regiones en donde es dominante el minifundio.
En Ecuador, en las áreas con cangahua, más del 80% de las familias tienen menos de 3 ha. En México esa tasa es variable de una región a otra y la superficie generalizada entre los agricultores varia de 2 a 10 ha por familia.
La Cangahua o tepetate en tales condiciones económicas y sociales son un recurso de suelo necesario. El cultivo base para el autoconsumo es el maíz. El área dedicada a cultivos comerciales o pastizales es muy reducida.
La disponibilidad de medios de producción es muy limitada. Muy frecuente el recurso menos escaso es la mano de obra familiar, como capital humano que incluso tiene reducidas opciones de costo de oportunidad fuera de la región. No obstante su oportunidad marginal, las necesidades exigen recursos complementarios de un ingreso exterior.
Sin embargo, la rehabilitación del tepetate o de la cangahua como suelo agrícola necesita una gran inversión, tanto de trabajo como financiera. Las evidencias bajo esas condiciones, muestran que ciertos agricultores a menudo manejan estos suelos rehabilitados como agrícolas, sin fertilizarlos más.
En Ecuador, por falta de fertilizantes y de selección varietal el rendimiento medio del maíz en grano es solamente de 500 kg/ha. Mientras que en México, con un mejor manejo, se alcanzan rendimientos 3 o 4 veces superiores.

El modo de la roturación es también diferente. En Ecuador a menudo es manual, con pico, muy costoso por el tiempo de trabajo, y el suelo obtenido es poco profundo. Sin embargo, se encuentran en proceso de evaluación unos protocolos de roturación mecanizada o semi-mecanizada, complementados con la construcción de terrazas con muro de bloques de cangahua, para obtener una pendiente progresiva reducida.
El costo de este tipo obra fue de 830 a 1050 US $/ha. En México desde hace 20 o 30 años, la roturación es mecanizada, ya sea en terrazas planas, o con pendiente reducida. El costo del subsoleo es de U$ 350 a 550/ha. El costo total construyendo terrazas varía entre U$ 1600 a 2100 /ha.
Una estimación económica a primera vista podría recomendar que la rehabilitación de tepetates o cangahua necesita un programa de ayuda, tanto al financiamiento como a la capacitación de los campesinos. Cierto, no obstante, la evidencia de la rehabilitación creciente del tepetate nos sugiere continuar con estos estudios e incursionar en la función de la estrategia familiar al invertir en su rehabilitación.

La repoblación forestal. Una oportunidad para proteger y valorizar las áreas erosionadas con cangahua o tepetates. Una evaluación del costo ha sido hecha en el Valle de México: con el sistema de reforestación con terrazas entre U$ 945 a 1280 /ha; con el sistema de reforestación con trincheras de U$ 260 a 410 /ha.

Erodabilidad y conservación de suelos volcánicos endurecidos cultivados.

La investigación de la erosión consiste en la medición de la erosividad de las lluvias, del escurrimiento superficial y de la pérdida de tierra. Esta es complementada con observaciones de los estados de superficie, y sus efectos sobre el escurrimiento y la erosión, tanto con lluvias naturales como con lluvias simuladas.

Régimen de lluvias y erosividad.

En México se utilizaron dos estaciones principales: S. M. Tlaixpan, cerca de Texcoco en el valle de México, y Tlalpan, en el estado de Tlaxcala.
El coeficiente de erosividad medio anual (Rus) varió entre 150 en San Miguel a más de 400 en Tlalpan. La variabilidad interanual de la altura de precipitaciones y del número de lluvias fuertemente erosivas (> 50 mm/h durante > 30 min.) con 3 a 6 eventos por año, es muy fuerte en relaciones de 1 a 2. Las lluvias fuertes son escasas, pero causan cerca de la mitad de la erosión global anual, cerca de 80% de las lluvias son poco intensivas y no erosivas.
En Ecuador se utilizaron 2 estaciones, en Tola en clima subhúmedo y en Cangahua en clima subárido. El coeficiente de erosividad anual de las lluvias es respectivamente, cerca de 200 y 100. El número respectivo de lluvias fuertemente erosivas es de 4 a 2 por año, pero hay también una fuerte variabilidad interanual y estacional.

Medición de escurrimiento y erosión.

Durante 1990-91, la experimentación fue hecha solamente en pequeñas parcelas de 44 m^2 de referencia, del tipo "Wischmeier". Un objetivo en la segunda etapa fue: medir la erosión sobre parcelas del tamaño más cercano a las parcelas de los agricultores: estas en México fueron de 500 a 1000 m2 de superficie, con pendiente moderada (4 a 6%). En Ecuador de 100 m2 con pendiente del 15%. Otro objetivo: probar unos modelos de cultivos tradicionales y otros de cultivos alternativos, con el fin de mejorar la productividad y la conservación de suelos.

Sin embargo, en México se continuó en forma paralela con mediciones sobre pequeñas parcelas de tipo Wischmeier, en Tlalpan 3 parcelas con tepetate natural, tepetate roturado desnudo, tepetate cultivado con maíz sembrado en surcos. En Tlaixpan se realizó una experimentación más compleja para precisar los parámetros de un modelo de predicción de la erodabilidad del tepetate, en donde se comparó el tepetate natural con el tepetate roturado, sometidos a varios tratamientos como escarda, protección de una malla, entre otros. El cultivo utilizado fue el trigo.
En México y en Ecuador se realizaron observaciones de la evolución de los estados de superficie, con lluvias naturales o simuladas, con el fin de determinar los factores de la erosión según varios tratamientos.

Estación Tlaixpan, Texcoco, México.

La experimentación se realizó durante cuatro años, de 1993 a 1996. La comparación se realizó entre un suelo agrícola, el tepetate natural y el cultivado. Se rehabilitaron cinco terrazas con tepetate cultivado, sometido a rotación de cultivos, sucesivamente: cebada, maíz+ haba, maíz +haba, cebada o maíz+ haba. Los tratamientos fueron: profundidad de laboreo 40-60 cm; aplicación de abono orgánico y de fertilización mineral; fragmentación media-fina; labranza para el maíz en surcos o en camas para la cebada , surcos tradicionales o cruzados (contreo).

Los resultados mostraron, no obstante, la presencia de dos factores más importantes que los tratamientos probados. Un factor de distribución espacial considerando que las terrazas de arriba eran más erosionables que las de abajo; una fuerte variabilidad interanual, considerando que la erosión es mucho menor un año poco lluvioso.
Los factores evaluados: profundidad de roturación, aplicación de abono orgánico y/o fertilización mineral, preparación de agregados: en general se apreciaron de poca importancia en la generación de comportamientos diferenciados, sea en la exploración de potencialidades. Aunque aparenta ser la labranza en surcos un poco más eficaz que la labranza en camas, así como el contreo ser mejor que la labranza tradicional.

Estación de Tlalpan, Tlaxcala, México.

La experimentación se realizó durante 1995 y 1996. El protocolo consistió en el establecimiento de tres terrazas, todas con cultivo de maíz.
La comparación utilizó tres tratamientos de labranza: tradicional en surcos. labranza mínima con y sin cultivo intercalado de leguminosa. La labranza mínima con cultivo intercalado fue tan eficaz como la labranza tradicional.

Estaciones en Ecuador (Tola y Cangahua)

Los experimentos fueron en los ciclos 1994-1995 y 1995-1996.En cada estación se establecieron tres parcelas, con pendiente del 15%: la primera sin obra de conservación; la segunda con un muro antierosivo aguas abajo, de bloques de cangahua; la tercera con riego al inicio del cultivo, con el propósito de adelantar la cubierta vegetal antes de las primeras lluvias.
En la Tola había además una corta pendiente reducida (2%) casi plana, para probar el efecto de pendiente. Los cultivos de cebada o avena se hicieron sin abono. Los resultados mostraron que el efecto de un muro de cangahua es tan eficaz como la pendiente reducida.

En Chile, Estación de Paillahuinte, Valdivia.

Las parcelas fueron pequeñas (37 m2), estaban localizadas sobre un andosol, con pendiente muy fuerte (28%). El clima es muy lluvioso con más de 4000 mm/año. La duración se realizó un año (1995-1996).

El número de parcelas cultivadas fue de 6, en las que se estableció una franja empastada de retención de sedimentos, de 1 m de ancho, cada 15 m de longitud. Así como dos parcelas de pradera. La meta era probar el control de la erosión sobre las colinas preandinas, recientemente convertidas de bosque a uso agro-pastoral. Los resultados mostraron: que con un manejo moderado los andosoles tienen una capacidad de infiltración suficiente para controlar el escurrimiento y mantener la erosión casi nula.

LA FERTILIDAD DE LOS TEPETATES DEL EJE NEOVOLCANICO EN LOS ESTADOS DE MEXICO Y TLAXCALA

Jorge D. Etchevers B., Ma. Antonia Pérez O., Hortensia Brito V., Marilú Vargas I. y Ulises López N.

LA FERTILIDAD DE LOS TEPETATES DEL EJE NEOVOLCANICO EN LOS ESTADOS DE MEXICO Y TLAXCALA

Jorge D. Etchevers B., Ma. Antonia Pérez O., Hortensia Brito V., Marilú Vargas I. y Ulises López N.

Introducción

El crecimiento acelerado de la población y la escasez de tierras de cultivo en México Central hacen necesario considerar la recuperación de los suelos que se han degradado, ya sea por razones naturales o por acción del hombre. Entre los suelos degradados que ocupan una superficie de importancia económica en los estados de México y Tlaxcala, se encuentran los tepetates. Los tepetates son horizontes endurecidos que se encuentran en suelos de origen volcánico, que pueden aflorar a la superficie terrestre después de que la capa de suelo sobreyacente se pierde por procesos erosivos. Esta erosión puede ser natural o el resultado de un mal manejo de los suelos. Por extensión también se llaman tepetates a los suelos que contienen en su perfil horizontes de esta naturaleza.
Los tepetates constituyen una importante reserva de tierra, que con inversiones moderadas pueden ser habilitados para la producción agrícola. Estos materiales se ubican en las faldas del eje Neovolcánico que cruza los estados mencionados de este a oeste, aproximadamente a la altura del paralelo 19 Norte.
Tanto el estado de Tlaxcala como el de México se caracterizan por poseer elevadas densidades de población y ser origen de considerables migraciones desde el sector rural hacia polos urbanos como las ciudades de México, Puebla, Tlaxcala y Cuernavaca.
Dicha migración es provocada, entre otras causas, por la falta de tierras de labor y por el empobrecimiento de éstas, por su mal manejo y por un acelerado proceso erosivo, así como por fenómenos de carácter económico-sociales, como son las escasas expectativas de trabajo, desarrollo incipiente de los sectores salud, educacional, y otros.

La incorporación de extensas superficies cubiertas con tepetates a la producción agrícola, ganadera o forestal, permitiría aumentar la frontera productiva en los estados de México y Tlaxcala, y disminuir la presión social por tierras de cultivo que ejerce una creciente población. Lo anterior serviría para retener una proporción mayor de habitantes en sus zonas de origen, disminuyendo el flujo de las migraciones internas, que deterioran aún más las débiles estructuras urbanas, impreparadas para recibir nuevos contingentes de habitantes, simultáneamente, ofrecería la posibilidad de contar con nuevas áreas para la producción de alimentos básicos para la población, lo cual contribuirá a mejorar la alimentación de las poblaciones rurales que viven en un esquema de producción de subsistencia. De esta manera se estaría contribuyendo a resolver problemas económicos que caracterizan a las poblaciones de bajos ingresos que habitan los sectores rurales dominados por los tepetates.
El mejoramiento de los tepetates requiere de variadas acciones de carácter técnico, relacionados con la naturaleza de las restricciones. La primera acción es el mejoramiento de las condiciones físicas de los mismos, ya que se trata de materiales endurecidos con baja capacidad de almacenamiento de agua, la segunda, es la corrección de algunas características químicas indeseables relacionadas con la nutrición de los cultivos.
Entre los principales problemas de índole química de los tepetates se encuentra su contenido casi nulo de nitrógeno y fósforo. Su habilitación requiere de la elevación de los niveles de disponibilidad de los elementos esenciales señalados y en algunos casos (suelos de reacción alcalina con pH 8.0) de la

adición de micronutrimentos, además de la formación de reservorios orgánicos que contengan los substratos energéticos necesarios para el establecimiento de una actividad biológica indispensable para el funcionamiento de los materiales recuperados como suelo agrícola.
La distribución y frecuencia de los índices de disponibilidad de nitrógeno, fósforo y otros elementos esenciales para el crecimiento de las plantas, así como las de ciertas características químicas ligadas a la nutrición de éstas, no han sido establecidas en los tepetates de los estados de México y Tlaxcala. Ello dificulta la toma de decisiones para el manejo de los problemas nutrimentales que deben ser resueltos prioritariamente cuando estos materiales son habilitados e incorporados a la producción agrícola.
Como es sabido, en ausencia de condiciones nutrimentales óptimas para cada elemento, opera la ley del mínimo. Dicha ley, y la lógica biológica, señalan que los problemas de mayor gravedad y mayor frecuencia deben recibir atención preferencial, pues de no ser así, es imposible que los cultivos alcancen los rendimientos que el entorno físico (clima y otras condiciones de suelo) permite. La información necesaria para la toma de decisiones relacionadas con el mejoramiento del ambiente nutrimental en los tepetates es posible generarla a través de un enfoque llamado levantamiento nutrimental de los suelos.

Dada la importancia del nitrógeno para la nutrición de los cultivos y su casi virtual ausencia en los tepetates, es necesario estudiar su dinámica, lo cual implica conocer y cuantificar los reservorios en el sustrato natural; los flujos y tasas de los procesos que se llevan a cabo al adicionar materia orgánica, ya sea en forma de residuos de cultivos o bien mediante estiércoles; y, medir el efecto del manejo agronómico de estos materiales (profundidad de incorporación, cantidad, etc.). Los aspectos anteriormente indicados son de gran importancia para lograr un manejo sustentable del sistema fertilidad del suelo, ya que los estudios de dinámica contribuyen a que se entienda mejor la naturaleza de ese equilibrio.
Estrechamente ligado a la dinámica del nitrógeno y del carbono en el suelo, se encuentra la actividad de la biomasa microbiana y el cambio que ésta sufre con el transcurso de los años de incorporación a la agricultura. Se sabe que dicha actividad se incrementa con el manejo que se le dé a los tepetates, por ejemplo, con la roturación, la adición de materia orgánica y la implantación de cultivos, en comparación con el material no roturado. De ahí la importancia de conocer más acerca del cambio cuantitativo y cualitativo de la biomasa microbiana en tepetates con diferentes años de incorporación a la producción agrícola, particularmente cuando se modifica el reservorio de materia orgánica, substancia prácticamente ausente en los tepetates y fundamental en el abastecimiento de nitrógeno para las plantas.

En los tepetates que se incorporan a la producción agrícola, es necesario construir los reservorios de nitrógeno orgánico a partir de la adición de residuos de cultivos, estiércoles u otras fuentes de materia orgánica, y de un manejo apropiado de los mismos. La materia orgánica se relaciona con la fertilidad física, biológica y química de los tepetates. Los productos metabólicos orgánicos de la descomposición de los residuos de cosecha y abonos orgánicos constituyen elementos importantes en la estructuración del suelo, proceso fundamental para la acumulación de reservas hídricas y para proveer a las plantas un sustrato de fácil exploración radical. Los productos metabólicos inorgánicos, como amonio y nitratos, sulfatos y fosfatos, entre otros, que se generan como consecuencia de la descomposición de la transformación de la materia orgánica constituyen importantes fuentes de abastecimiento nutrimental para los cultivos. Los residuos orgánicos son la fuente energética que permite a los microorganismos del suelo crecer, desarrollarse y al mismo tiempo proveerse de materiales estructurales para la

formación de más biomasa microbiana. Esta fase biológica juega un papel fundamental en el proceso de la recuperación de los tepetates.
Las diferencias en: explotación, manejo, salidas y entradas de compuestos orgánicos, años de explotación agrícola del tepetate y, en general, las condiciones climáticas, sobre todo precipitación y temperatura, traen como consecuencia diferencias en la disponibilidad de nitrógeno y otros elementos esenciales relacionados con las fuentes orgánicas para los cultivos. El conocimiento de estos factores son claves en el entendimiento y modificación de la dinámica del nitrógeno en los tepetates.
Los principales sistemas de manejo y explotación en los tepetates de los Valles Altos de México son: (a) aquellos que después de ser roturados se cultivan año con año con especies anuales (maíz, frijol, cebada y trigo), y (b) los que son cultivados con especies perennes, como flores, algunas especies frutales y especies forestales. El manejo de los residuos de cosecha difiere en todos los casos; en el primero, la modalidad es que los residuos sean retirados para ser utilizados como forraje, dejando en el terreno sólo las raíces y una pequeña proporción de la parte aérea; en el segundo caso, sólo se retira del terreno la parte útil (flores, frutos y madera). Estas variaciones en manejo traen consigo diferencias en el aporte de nutrientes al suelo (principalmente nitrógeno) que se manifiestan en la disponibilidad de nutrimentos en los suelos, lo cual debe ser considerado para el manejo más eficiente de la fertilidad de los tepetates.
Por todo lo anterior surge la necesidad de: (a) medir la distribución y frecuencias de algunas características químicas de los tepetates que se relacionan con la fertilidad de los mismos para conocer la situación actual de la disponibilidad nutrimental, (b) de conocer el tamaño y calidad de los reservorios orgánicos en estos materiales y, en especial las tasas de mineralización de nitrógeno, con el propósito de entender mejor la dinámica de este elemento, y (c) estudiar algunos aspectos relacionados con biomasa microbiana , como un indicador de la calidad de los tepetates.

Materiales y métodos

Las zonas de estudio se ubicaron en la vertiente noroccidental y en la vertiente nororiental de la Sierra Nevada (entre 19° 15' y 19° 42' de latitud norte y 98° y 99° longitud oeste), en los estados de México y Tlaxcala. La primera fue estudiada extensivamente por Peña y Zebrowski (1992) desde el punto de vista de su morfopedología y la segunda por Werner (1988). El clima de esas zonas es C(Wo)(w)b(i') según García (1981), es decir, templado subhúmedo, con lluvias en verano, verano fresco con una precipitación del orden de los 600 a 700 mm.
Las temperaturas medias anuales fluctúan entre 12 y 18 °C . La geología de ambas es ígnea con presencia de rocas como: tobas, brechas, andesitas, riolitas, ceniza volcánica y depósitos clásticos (Dirección General de Conservación de Suelo y Agua, 1983). El relieve es accidentado, con mesetas, laderas, montañas aisladas, lomeríos, etc. En las laderas y lomeríos de los 2700-2900 msnm, con pendientes que van de 11-30%, se encuentran situados los tepetates y algunas terrazas de suelos profundos derivados de tepetate.

En el sector noroccidental de la Sierra Nevada, en el estado de México, Peña y Zebrowski (1992) identificaron siete tipos de tepetates: brechas sedimentarias sin $CaCO_3$, tepetates del tipo T2 y T3 con y sin $CaCO_3$, tepetates Ti (o no clasificables en los grupos anteriores) con $CaCO_3$ y terrazas agrícolas de tepetates recuperados. Por su parte, Werner (1988) identificó en la parte nororiental de dicha sierra, en el estado de Tlaxcala, los siguientes tipos de tepetates: D1 o tepetate gris claro, D2 o tepetate café-amarillo, D3 o tepetate café claro, y D5 o tepetate gris. La clasificación anterior fue utilizada como

base para el estudio de las características químicas asociadas con la fertilidad de los tepetates nativos o levantamiento nutrimental. Se seleccionaron arbitrariamente 70 muestras de la zona noroccidental y 31 de la zona nororiental, las cuales se distribuyeron proporcionalmente de acuerdo a la incidencia de la superficie de cada clase de tepetate en el mapa en la superficie total de los tepetates del área. Se tomaron muestras de la profundidad 0-20 cm en zonas donde el tepetate estaba aflorado. En el Cuadro 1 se muestra la superficie de cada clase, el porcentaje relativo de su superficie y el número de muestras colectado para el levantamiento nutrimental. El material colectado se secó al aire y a la sombra, se tamizó a través de una malla de 2 mm y luego se analizó para determinar: pH, conductividad eléctrica (CE), concentración de CaCO3, materia orgánica, nitrógeno orgánico, fósforo extractable Olsen, bases intercambiables y micronutrientes. Los procedimientos analíticos utilizados fueron rutinarios (Etchevers, 1988). Para la interpretación de los resultados se establecieron las frecuencias con que se presentan las distintas clases de fertilidad. Los límites de dichas clases fueron arbitrarios, pero apegados a los estándares referidos en la literatura para las distintos análisis. Los niveles y procedimientos específicos utilizados fueron descritos por Brito, (1997).

Cuadro 1. Superficie, porcentaje relativo de cada clase de tepetate y número de muestras colectadas por clase para el levantamiento nutrimental de los tepetates de la parte noroccidental y nororiental de la Sierra Nevada, estados de México y Tlaxcala

Tipo de tepetate	Superficie	Porcentaje relativo	Número de muestras
	ha	%	%
		Estado de México	
Brecha	100	0.80	1
T2 con CaCO3	2608	20.94	14
T2 sinCaCO3	2430	19.51	14
T3 con CaCO3	2986	23.98	17
T3 sin CaCO3	1883	15.12	10
Ti con CaCO3	2445	19.63	14
Total aflorado	12452	100.00	70
Total recuperados.	1230		6
		Estado de Tlaxcala	
D1 Gris claro	7830	13.34	5
D2 Café-amarillo	35980	61.31	19
D3 Café-claro	12320	20.99	6
D4 gris	2560	4.36	1
Total	58690	100.00	31

Para el estudio de dinámica del nitrógeno y de la biomasa microbiana se seleccionaron unidades de producción en los ejidos San Miguel Tlaixpan, San Pablo Ixayoc y Tequexquinahuac, en las cercanías de Texcoco, estado de México. En el Cuadro 2 se presenta la lista de parcelas, el número de años de cultivo, así como su ubicación, muestreadas para el estudio de la dinámica del nitrógeno.

En las parcelas seleccionadas se realizaron seguimiento agronómicos para cuantificar la biomasa y el rendimiento de grano, además de los residuos de raíz y parte aérea que fueron dejados después de la cosecha. Muestras de estos materiales fueron analizadas para determinar su porcentaje de nitrógeno total. Al finalizar el ciclo de cultivo se tomaron muestras de tepetates en algunos sitios seleccionados y se cuantificó el tamaño de los reservorios y las tasas de mineralización (Stanford y Smith, 1972). Con los resultados de nitrógeno mineralizado acumulado durante el tiempo de incubación (17 semanas) se estimó el nitrógeno potencialmente mineralizable asociado a los reservorios lábil y estabilizado.

Para evaluar la tasa de mineralización de los residuos se empleo la metodología propuesta por Westermann y Crothers (1980) que consiste en exponer las muestras de residuos (aéreos y raíces) colocadas en bolsas de malla plástica a la acción de los agentes mineralizantes. Con el propósito de diferenciar las velocidades de descomposición de los residuos de raíces y los aéreos una parte de las bolsas fue enterrada y otra se colocó en la superficie,. A las bolsas se les determinó de manera mensual la pérdida de peso. Con los datos del tamaño de los reservorios y las tasas de mineralización de éstos y del material residual se hizo una modelización y se calculó el suministro de nitrógeno. Los detalles de los procedimientos experimentales empleados en el estudio de la dinámica del nitrógeno fueron descritos en detalle por Pérez (1997).

Cuadro 2. Ubicación, edad y cultivo de las parcelas de agricultores muestreadas para el estudio de la situación del nitrógeno

Sitio	Edad del tepetate	Cultivo actual	Comunidad
HNT1-0	0	Trigo	San Miguel Tlaixpan
HNT4-0	0	Trigo	San Miguel Tlaixpan
CPT4-3	3	Maíz	San Miguel Tlaixpan
CPT6-3	3	Maíz	San Miguel Tlaixpan
RFT2-5	5	Maíz-Haba	Tequexquinahuac
CL-10	10	Frijol	Tequexquinahuac
ER-10	10	Agapando	San Pablo Ixayoc
RF-10	10	Maíz-Haba	Tequexquinahuac
RS-16	16	Maíz	San Pablo Ixayoc
LS-16	16	Maíz	San Pablo Ixayoc
AP-16	16	Maíz	San Pablo Ixayoc
ER-21	21	Maíz	San Pablo Ixayoc
RF-22	22	Maíz-Haba	Tequexquinahuac
IG-35	35	Maíz	San Pablo Ixayoc
SG-46	46	Maíz	San Pablo Ixayoc
CS-60	60	Maíz	San Pablo Ixayoc

Con el propósito de ensayar los métodos de medición de la biomasa microbiana, probar la sensibilidad de los mismos, y medir el tamaño de las poblaciones de microorganismos se colectaron, en un experimento preliminar, muestras en suelos con diferente grado de productividad y en un tepetate. Las muestras de suelo se secaron al aire antes de las determinaciones por lo que los resultados sólo son comparables entre ellos. Para el estudio cualitativo de determinación de microorganismos totales se empleó el método de conteo en placa. Los detalles de este experimento fueron descritos por López (1995). En una segunda fase de la experimentación se seleccionaron algunos sitios de los indicados en el Cuadro 2 correspondientes a tepetates del tipo T3, de acuerdo a Peña y Zebrowski (1992) más otros de la vecindad. Estas muestras se almacenaron en húmedo a 4°C antes de la determinación de C-biomasa microbiana, (Jenkinson y Powlson 1976b y 1980), N-biomasa Shen *et al.*. (1984) y P-biomasa. Parte de estas muestras se secó al aire y se les determinó C-soluble (Fox y Piekelek 1978), materia orgánica y P-Olsen. Todos los procedimientos de análisis químicos empleados en este experimento son rutinarios (Etchevers, 1988).

Resultados

Levantamiento nutrimental de los tepetates de los estados de México y Tlaxcala

En los Cuadro 3 y 4 se presentan las medias, las desviaciones estándar y los rangos de las principales características químicas asociadas a la fertilidad de suelo para los tepetates de México y Tlaxcala, respectivamente.

La presencia de CaCO3 en los tepetates del estado de México se reflejó claramente en los valores de pH. Las muestras de tepetates T2, T3 y Ti con CaCO3 tuvieron un pH promedio de 8.0, mientras que los T2 y T3 sin este material alcanzaron pH 7.6. El CaCO3 y pH influenciaron marcadamente el calcio y magnesio extractables en acetato de amonio 1N pH 7.
Dichos valores no pueden ser considerados como correspondientes a formas intercambiables de estos elementos, puesto que parte de lo extraído no provino de estos últimos. La concentración media de calcio extractable en los tepetates T2, T3 y Ti con CaCO3 fue substancialmente superior que en los tepetates T2 y T3 sin carbonato (25.6 contra 13.1 cMkg-1), pero la diferencia en el caso del magnesio fue insignificante (11.4 contra 9.1 cMkg-1) e inexistente en el potasio(1.1 $cMkg^{-1}$en ambos grupos). Los cationes extractables son suficientes para sostener la producción de cultivos. El sodio extractable no ofrece ningún peligro dados los elevados niveles de calcio y magnesio presentes en dichos materiales. La relación calcio/magnesio (promedio 1.88) es relativamente estrecha, en tanto que la relación calcio/potasio se considera muy amplia. La presencia de carbonatos libres y los pH alcalinos de los tepetates afectaron la disponibilidad de los micronutrientes, particularmente la de hierro, zinc y manganeso en los tepetates T2, T3 y Ti con CaCO3 . Los promedios de hierro, manganeso, zinc y cobre extractables en DTPA en los tepetates con y sin CaCO3 fueron: 3.7 y 6.5, 5.7 y 9, 0.5 y 1.0, y 0.6 y 0.6 ppm, respectivamente, valores considerados bajos e insuficientes para alcanzar rendimientos económicamente aceptables. En consecuencia, el control del suministro de micronutrientes se considera una práctica agronómica que debe recibir especial atención en la eventualidad de abrir estos tepetates a la producción. Los niveles de cobre presentados en este trabajo se consideran sobrestimados, debido a limitaciones del procedimiento experimental, y se instuye que son bastante menores en la realidad. Los porcentajes de materia orgánica y nitrógeno se consideran muy bajos.

Esta situación es una limitante seria para los planes de incorporación de los tepetates a la producción agrícola, puesto que la materia orgánica es la responsable de proveer la fuente de carbono para la biomasa microbiana del suelo, nutrimentos para las plantas y moléculas orgánicas residuales para la estructuración de los componentes del suelo.

Cuadro 3. Medias, desviaciones estándar y rangos de las principales características químicas asociadas con la fertilidad de los tepetates del estado de México.

P1	pH	CE	Ca2	MO	Nt	K	Ca	Mg	Na	P	Fe	Cu	Zn	Mn
	dSm-1	----------%----------				---------cMkg-1---------				----------ppm----------				
						T2 con CaCO3								
X	7.8	0.21	5.8	0.49	0.04	1.2	19.6	10.8	1.0	3.2	4.0	0.6	0.5	8.0
S	2.1	0.22	2.5	0.19	0.01	0.5	11.9	4.0	0.8	1.5	0.8	0.2	0.3	4.7
R	1.2	0.33	6.0	0.66	0.03	1.2	34.5	11.4	2.7	1.0	5.4	0.6	1.0	14.0
						T2 sin CaCO3								
X	7.6	0.20	5.2	0.43	0.03	0.8	13.1	10.6	1.4	4.0	7.0	0.6	1.0	8.0
S	2.0	0.14	1.5	0.15	0.01	0.8	4.6	3.6	0.8	1.7	5.0	0.3	0.4	4.5
R	1.4	0.32	3.0	0.27	0.03	1.3	11.1	10.1	1.8	1.4	15.2	0.6	1.4	10.4
						T3 con CaCO3								
X	8.0	0.20	5.8	0.41	0.03	1.0	24.0	12.3	1.1	3.1	4.0	0.6	0.5	4.0
S	1.9	0.17	2.4	0.16	0.01	0.7	14.2	4.5	0.7	1.5	2.7	0.3	0.3	1.5
R	1.8	0.32	6.1	0.47	0.02	1.6	42.8	15.0	2.5	0.8	11.3	0.6	0.8	3.8
						T3 sin CaCO3								
X	7.7	0.16	4.3	0.50	0.03	0.7	13.2	9.1	1.2	4.0	6.0	0.6	1.0	10.0
S	2.3	0.07	1.6	0.21	0.01	0.6	4.6	3.2	0.7	1.7	2.1	0.2	0.3	4.3
R	1.2	0.86	2.4	0.66	0.02	1.2	8.05	5.5	1.6	1.4	3.8	0.4	0.8	9.0
						Ti con CaCO3								
X	8.1	0.13	7.1	0.41	0.04	1.2	33.3	11.2	0.8	3.2	3.0	0.6	0.5	5.0
S	2.1	0.04	2.6	0.14	0.01	0.6	19.2	3.5	0.4	1.8	1.9	0.2	0.2	3.5
R	1.2	0.06	7.6	0.26	0.02	1.6	29.8	7.6	1.2	0.4	3.8	0.4	0.4	13.8
							Brecha							
X	8.0	0.08	3.9	0.37	0.04	1.3	12.1	10.1	1.4	5.0	4.8	0.8	0.6	6.0

[1]Parámetros: X=Media, S= Desviación estándar, y R=Rango.
[2]Carbonato de calcio.

Cuadro 4. Medias, desviaciones estándar y rangos de las principales características químicas asociadas con la fertilidad de los tepetates del estado de Tlaxcala.

P1	pH	CE	Ca[2]	MO	Nt	K	Ca	Mg	Na	P	Fe	Cu	Zn	Mn
		dSm^{-1}	←------%-----→			←----------$cMkg^{-1}$----------→				←---------ppm---------→				
							D1 Gris claro							
X	7.3	0.12	5.9	0.5	0.03	1.9	11.0	11.4	0.97	3.0		0.7	0.4	3.3
S	0.3	0.14	0.4	0.3	0.01	0.4	3.9	0.9	0.11	0.4		0.2	0	4.1
			3											
R	0.7	0.35	1.1	0.5	0.03	1.0	9.5	2.3	0.24	1		0.3	0	9.0
X	8.1	0.17	5.6	0.5	0.02	1.8	8.2	7.4	0.72	3.0		0.6	0.4	2.8
S	0.6	0.27	0.5	0.14	0.01	0.4	5.5	4.6	0.98	2.7		0.2	0.1	5.5
R	1.5	0.67	1.5	0.4	0.03	0.8	15.0	12.8	2.61	7.0		0.3	0.2	14.8
								D4 Gris						
X	7.6	0.08	5.8	0.5	0.04	1.9	12.0	10.1	0.55	4.0		0.4	0.4	1.0

1Parámetros X=Media, S= desviación estándar, y R=rango. 2Carbonato de calcio.

En las Figuras 1, 2, 3 se presentan la distribución frecuencial de las diferentes clases de valores en que arbitrariamente se dividió cada una de las variables químicas asociadas a la fertilidad de los tepetates (Brito, 1997).

Los tepetates aflorados del estado de Tlaxcala presentaron, en general, las mismas características químicas que los del estado de México. La única diferencia que vale la pena destacar es que las concentraciones promedios de calcio y magnesio extractables en acetato de amonio pH 7.0 tienden a ser ligeramente inferiores, pero las del mismo tipo de potasio ligeramente mayores.

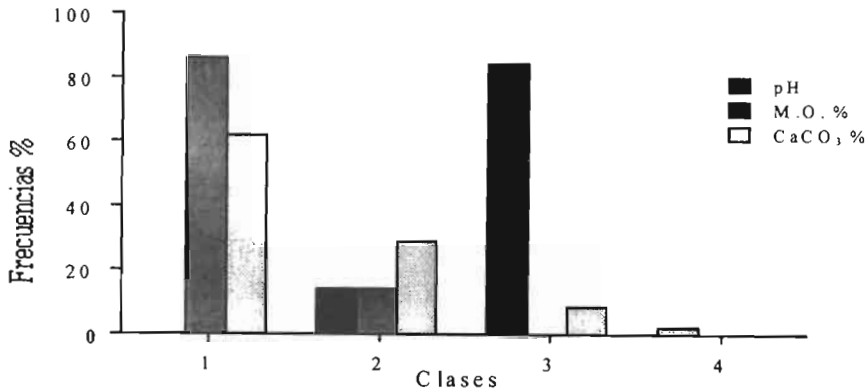


Figura 1. Clases de pH, materia orgánica y carbonatos de calcio en tepetates del Estado de México

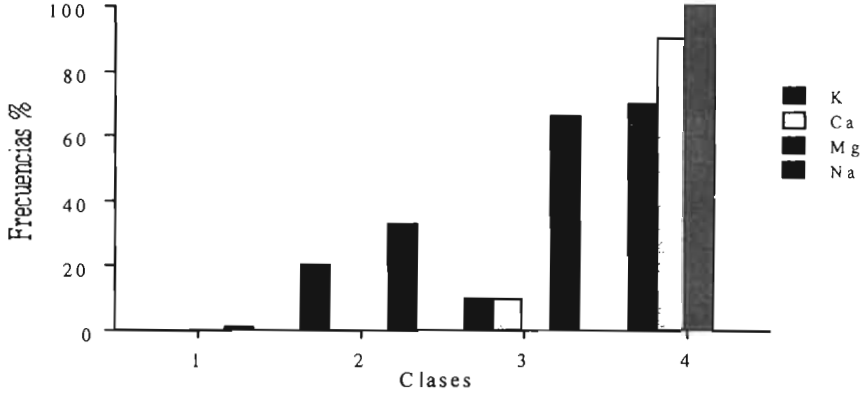


Figura 2. Clases de bases intercambiables en tepetates del Estado de México

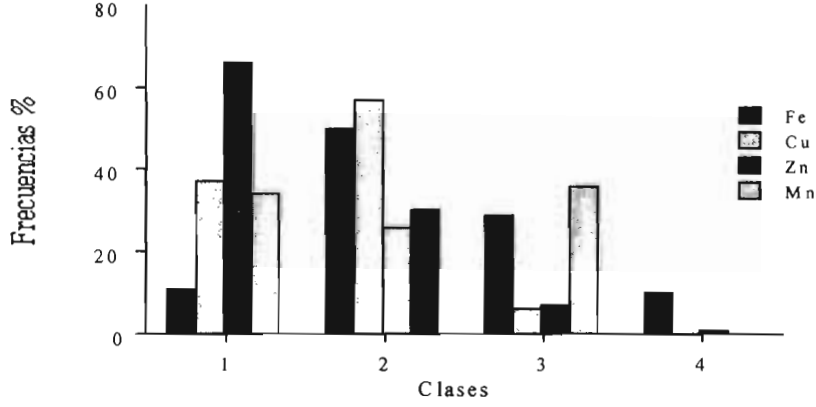


Figura 3. Clases de micronutrientes en tepetates del estado de México

En las Figuras 4, 5 y 6 se presentan la distribución frecuencial de las diferentes clases de valores en que arbitrariamente se dividió cada una de las variables químicas asociadas a la fertilidad de los tepetates de este Estado.

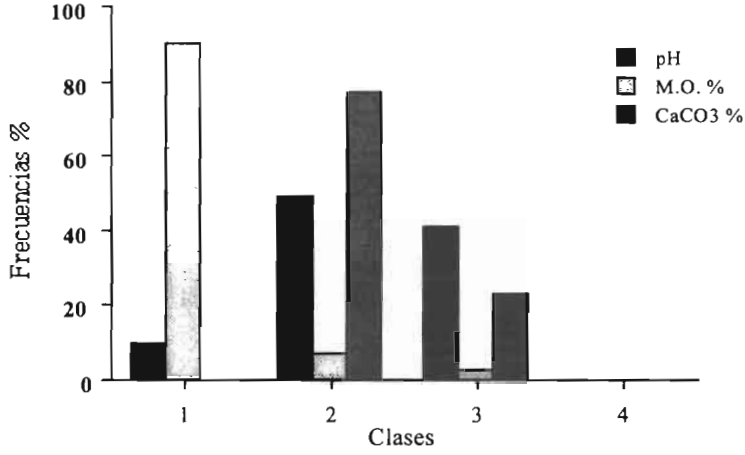


Figura 4. Clases de pH, materia orgánica y carbonatos de calcio en tepetates de Tlaxcala

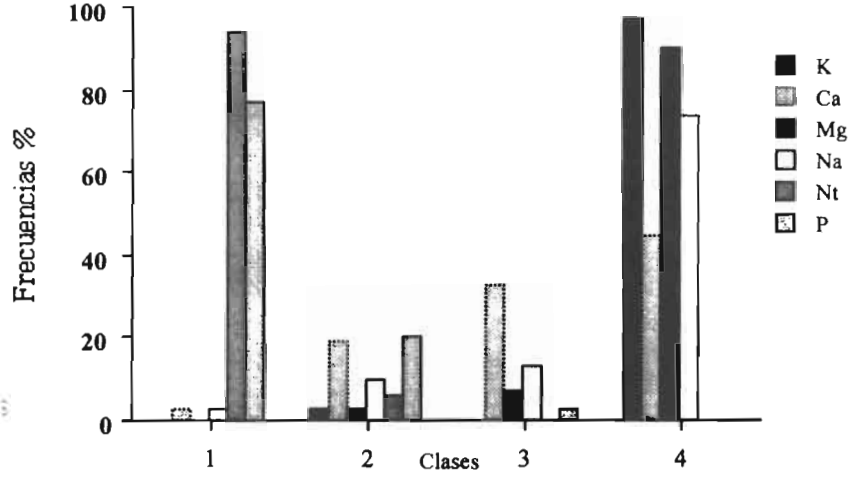


Figura 5. Clases de macronutrientes en tepetates del estado de Tlaxcala

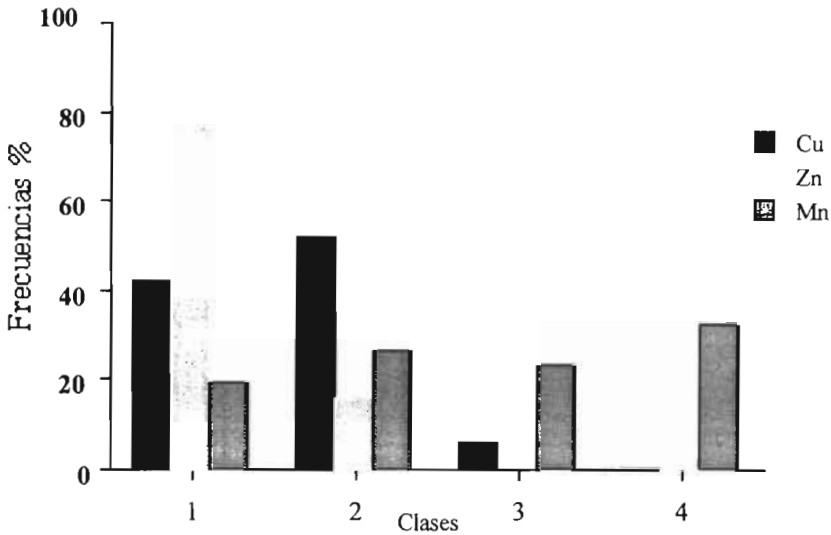


Figura 6. Clases de micronutrientes en tepetates del estado de Tlaxcala

El mejoramiento de la disponibilidad de nitrógeno y fósforo constituyen dos de las principales actividades ha realizar durante el proceso de la habilitación de los suelos volcánicos endurecidos de los estados de México y Tlaxcala. Los niveles de estos elementos en los tepetates expuestos no rehabilitados, son insuficientes para producir cualquier tipo de cultivo. Parte importante de la situación anterior se deriva del bajo contenido de materia orgánica. No es posible pensar en mejorar las condiciones de producción agrícola sin incrementar los porcentajes de materia orgánica, la que, además, contribuye significativamente a mejorar algunas propiedades físicas del suelo relacionadas con la productividad del mismo. La situación de los micronutrimentos también debe ser observada con especial interés, ya que en muchos tepetates, debido a su condición de pH ligeramente alcalino motivado por la presencia de carbonato de calcio libre, se presentan concentraciones de los mismos consideradas como bajas, esto es inadecuadas para el crecimiento de los cultivos agrícolas de la zona. Consecuentemente otra actividad que hay que realizar para mantener una fertilidad adecuada en los tepetates es el control y mejoramiento, en su caso, de la situación micronutrimental.

Rendimientos, cantidad de residuos y aporte de nitrógeno

En el Cuadro 5 se presentan los rendimientos de materia seca de la parte aérea, la paja, el grano y la raíz, así como la cantidad de residuos de cosecha (tocones de tallo) y los residuos frescos incorporados al suelo (raíces del cultivo más raíces de malezas y otros) en los sitios experimentales cultivados con maíz. La cantidad de raíces se estimó igual al 15% de la biomasa aérea.

Los residuos de cosecha en el sistema tradicional de cultivo de maíz en la zona, es decir, las entradas naturales de nitrógeno orgánico al suelo, están constituidos por: (a) los restos de los tallos (tocones) que deja el productor después de cosechar y retirar la paja del sembradío, (b) por las raíces del maíz y las malezas que crecen durante la estación, y (c) por los restos de tejidos del cultivo del año anterior incorporados al suelo pero que no han sufrido un proceso de descomposición.

La cantidad de residuos se relaciona directamente con la capacidad del agroecosistema para fijar carbono y acumular materia seca, por lo que a continuación se hace un análisis de esta situación. La producción media de materia seca de la parte aérea en el caso del maíz, en los 10 sitios cosechados, fue de 2940 kg/ha. Estos valores son inferiores a la producción máxima posible de biomasa aérea medida bajo condiciones experimentales el agroecosistema estudiado en un tepetate recién habilitado y tratado con 20 toneladas de estiércol (H. Navarro.1997. Comunicación personal.) Los agroecosistemas tienen una producción máxima posible la cual se puede estimar por varios procedimientos, misma que es abatida por factores inmodificables de la producción (Galvis *et al.*, 1993; Rodríguez, 1993).

El comportamiento de un cultivo, en cuanto a su eficiencia de desempeño en una situación cualquiera, puede ser juzgado por el valor de su índice de cosecha (IC). El IC para las maíces criollos del altiplano mexicano es 0.39 (Obrador, 1994). Sólo dos sitios experimentales (ER y CS) se acercaron a ese valor de IC. La producción promedio de materia seca de la parte aérea en éstos fue de aproximadamente 3500 kg/ha, la cual se considera un valor inferior al rendimiento máximo posible para el agroecosistema en estudio, cuando bien manejado y en un año sin mayores restricciones de lluvia. El rendimiento de grano de maíz en dichos sitios fue la mayor (promedio 1290 kg/ha). El promedio de rendimiento de los ocho sitios restantes fue de sólo 735 kg/ha, es decir 57% del máximo registrado. La comparación entre la producción de biomasa aérea y el rendimiento de grano, en estos dos grupos de sitios, nos indica que el bajo rendimiento de grano de éste último no se debió a escasez de un aparataje fotosintetizador ya que éste fue similar. La explicación a este comportamiento puede encontrarse en un probable déficit hídrico temporal, en un período de altas temperaturas durante etapas críticas de floración y llenado de grano o a un déficit de fósforo disponible en el suelo. De acuerdo con las funciones empíricas generadas para suelos delgados del altiplano mexicano por Galvis (1990), por cada milímetro de agua caída en este período se podrían producir 10 a 11 kg de maíz, lo cual significa un potencial de producción de 3000 kg/ha de grano, si se considera que pueden llover aproximadamente 300 mm durante el periodo crítico del maíz. Dicha cantidad de agua se obtuvo en el año experimental. Esto indica que en los tepetates existen factores limitantes distintos de la disponibilidad de agua de lluvia, probablemente de distribución o capacidad de almacenamiento la misma o nutrimentales, que habría que revisar.

La entrada de nitrógeno al suelo por concepto de los residuos de la parte aérea, en el sistema local de producción de maíz, está determinada por los tocones de 10 a 15 cm de altura que quedan en el campo; en este experimento fueron 290 kg./ha, lo cual representa un ingreso al suelo de aproximadamente 2.0 kg./ha de N, considerando que estos tienen 0.7% nitrógeno (Rodríguez, 1993). Destaca el hecho que aquellos sembradíos con IC cercano al ideal aportaron más del doble de residuos (690 kg./ha) y por ende de nitrógeno, que aquellos con IC promedio cercano a 0.25. La cantidad de raíces de maíz que se incorporaron al suelo se relacionó directamente con la biomasa aérea. Bajo condiciones ideales de producción se podrían ingresar al suelo por este concepto, aproximadamente 500 kg./ha de raíces, y el promedio fue 440 kg./ha. El aporte medio de las raíces al nitrógeno del suelo sería de 5.0 kg./ha, considerando que éstas contienen aproximadamente 0.9% de nitrógeno (Rodríguez, 1993).

Es interesante destacar que en los residuos aislados del suelo hay un aporte considerable de otras fuentes orgánicas, presumiblemente raíces de malezas, que también contribuyen a entradas de nitrógeno y que éstas son más importantes que las del cultivo. En promedio se tuvo un aporte global de residuos al suelo cercano a los 2000 kg./ha. Si se considera que la demanda de nitrógeno de un cultivo de maíz con un rendimiento de 1.3 toneladas de grano es 33 kg./ha, los aportes de nitrógeno de un cultivo de maíz precedente que hubiese tenido un rendimiento cercano al máximo posible sería sólo de 6 kg./ha, esto es 18% de la demanda, por lo que es preciso que se complemente el suministro nativo del suelo con aplicaciones de fertilizante nitrogenado.

Nitrógeno mineralizable (reservorio lábil y estabilizado)

En el Cuadro 5 se presenta una estimación de los aportes de nitrógeno que harían los reservorios lábil y estabilizado.

Cuadro 5. Tamaño de los reservorios de nitrógeno lábil y estabilizado

Sitio	NL	NE	NT
		←----------ppm----------→	
HNT4-0	29	1.6	30.6
HNT1-0	15	1.4	16.4
CPT4-3	30	11.2	41.2
CPT6-3	22	9.1	31.1
RFT2-6	27	17.8	44.8
CL-10	38	13.1	41.1
ER-10	38	2.2	40.2
FR-10	21	3.1	24.1
AP-16	30	14.4	44.4
RS-16	36	7.4	43.4
LS-16	20	6.9	26.9
ER-21	25	3.3	28.3
RF-22	39	4.1	43.1
IG-35	22	1.7	23.7
SG-46	23	4.0	27.0
CS-60	23	4.1	27.1

La predicción se hizo en función de las modelos ajustados en cada caso (Pérez, 1997). Se consideró que el nitrógeno mineralizado en las primeras 5 semanas constituye el reservorio lábil y el restante al estabilizado. Esta decisión fue hecha en función del cambio de pendiente que experimenta la curva de nitrógeno mineralizado acumulado. El reservorio lábil resultó ser el más importante para el abastecimiento de nitrógeno inorgánico al suelo. El aporte del reservorio orgánico estabilizado fue relativamente pequeño.

En la Figura 7 se presentan las curvas de mineralización de nitrógeno acumulado en tepetates recuperados en un rango de años que va de 0 a 60. La menor mineralización se observó en HNT1-0, recientemente habilitado y sin materia orgánica. La adición de 20 ton/ha de materia orgánica en este

sitio, resultó en un incremento moderado de la mineralización. La mineralización máxima se alcanzó en CL-10, manejado con adición continua de residuos orgánicos de variada naturaleza. La mineralización de nitrógeno no se relacionó con los años de cultivo del tepetate, aunque si hubo relación con la adición de materia orgánica, aun en sitios con escasos años de explotación agrícola.

Los anteriores resultados muestran que una práctica agronómica aconsejable para aumentar la disponibilidad de nitrógeno inorgánico en los tepetates, particularmente en los recién recuperados, es la adición de estiércol.

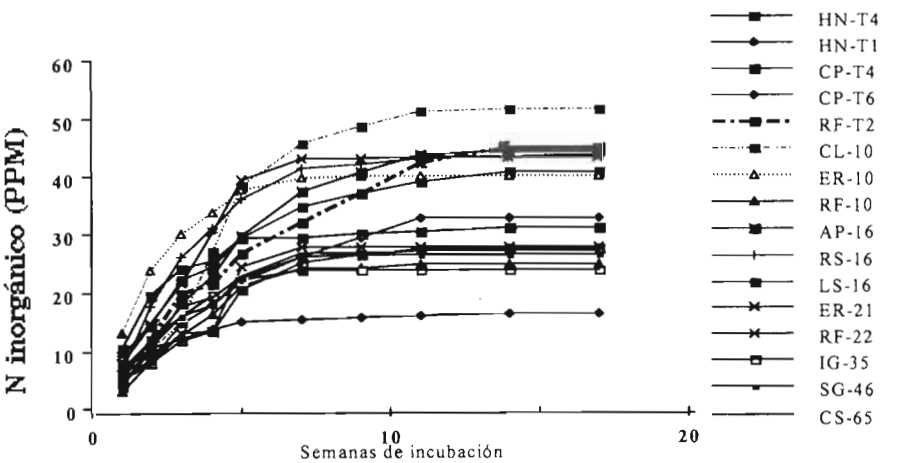


Figura 7. Nitrógeno mineralizado total durante 17 semanas de incubación, en tepetates de la ladera noroccidental de la Sierra Nevada, Estado de México.

Mineralización de los residuos en el campo

En la Figura 8 se presenta la curva de pérdida de peso de raíces de maíz enterradas en tepetates recuperados. La pérdida de peso alcanzó aproximadamente 40%, durante la estación de crecimiento. Esta cifra coincide con la reportada por otros estudios de residuos orgánicos en el suelo. Podemos suponer partiendo de estos valores que un 40% del nitrógeno incorporado en las raíces se hizo disponible por mineralización durante ese periodo.

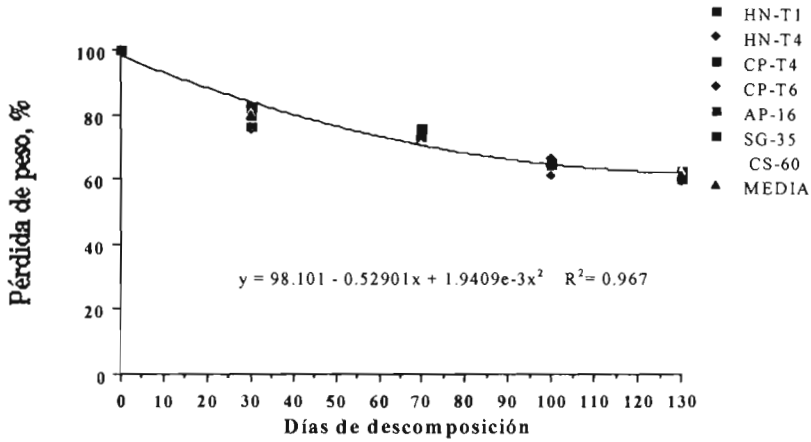


Figura 8. Pérdida de peso de raíces de maíz enterradas en tepetates cultivados.

Poblaciones de microorganismos

En el Cuadro 6 se presenta el número de unidades formadoras de colonias (UFC) correspondientes a bacterias, actinomicetos y hongos, tanto en el tepetate como en los suelos con distinto grado de productividad.

Cuadro 6. Número de unidades formadoras de colonias de bacterias, actinomicetos y hongos.

Tipo de explotación	Bacterias	Actinomicetos	Hongos
		UFC	
Tepetate	1.8x10-4	1.2x10-4	7.8x10-0
Temporal	2.7x10-5	1.5x10-5	5.4x10-3
Intensiva	1.5x10-6	5.0x10-6	3.6x10-4

En el Cuadro 7 se presentan los resultados de los análisis realizados en el experimento preliminar hecho con el propósito de verificar la sensibilidad de las técnicas para determinar diferencias entre suelos manejados diferencialmente.

Cuadro 7. Parámetros microbiológicos y químicos de los agrosistemas estudiados.

Tipo de explotación	pH	MO_2	Ni_2	P Olsen	Biomasa		
					C	N	P
		%	-------ppm------		----------ppm----------		
Tepetate	7.3	0.06d	14d	1c	8c	2c	0c
Temporal	6.1	0.86c	34c	7b	134b	28b	7b
Intensiva	6.5	1.65b	75a	9b	133b	36a	9b
Tecnificada	6.5	2.10a	44d	21a	279a	38a	21[a]

1 Medias seguidas de la misma letra en una columna no difieren significativamente (Tukey <0.05).
2 Ni= nitrógeno inorgánico.

El C-biomasa fue significativamente menor en el tepetate (8 ppm).que en los suelos explotados agrícolamente. El máximo valor de C-biomasa se obtuvo en el sistema con agricultura tecnificada (279 ppm). Los suelos con agricultura de temporal y explotación intensiva tuvieron valores intermedios muy similares (134 y 133 ppm) que difirieron también significativamente de los dos anteriores. Esto último ocurrió a pesar que los contenidos de materia orgánica de esos dos suelos de comportamiento similar en cuanto a C-biomasa fueron significativamente distintos (0.85 y 1.65 %, respectivamente). El bajo valor de C-biomasa del suelo con agricultura intensiva se atribuyó a que los residuos de cosecha fueron retirados, dejando sólo las raíces del cultivo, lo cual disminuyó el sustrato carbonáceo necesario para que se desarrolle la biomasa del suelo. La materia orgánica de ese suelo debe ser fundamentalmente del tipo estabilizada o resistente que no favorece un crecimiento explosivo de la biomasa. El comportamiento del N-biomasa y P-biomasa fue muy similar en cuanto a su tendencia que el del C-biomasa, con la excepción de N-biomasa del sitio con agricultura tecnificada, donde se habría esperado un valor mayor de este parámetro.

C-biomasa en tepetates con distintos años de explotación agrícola

En el Cuadro 8 se presentan algunas características químicas de los tepetates experimentales, el C soluble y el C-biomasa en tepetates habilitados y sometidos a explotación agrícola por una número creciente de años.

La materia orgánica de los tepetates habilitados para la agricultura no mostró un aumento correspondiente de ésta al incrementarse el número de años bajo explotación. Este hecho significa que los sistemas de manejo establecidos por los productores no han prestado la debida atención a la urgencia de mejorar los reservorios orgánicos. Estos son fundamentales para un buen funcionamiento del sistema suelo.

El C-biomasa presentó una tendencia creciente a medida que aumentan los años de cultivo (Figura 9), situación que no se observó con la materia orgánica.

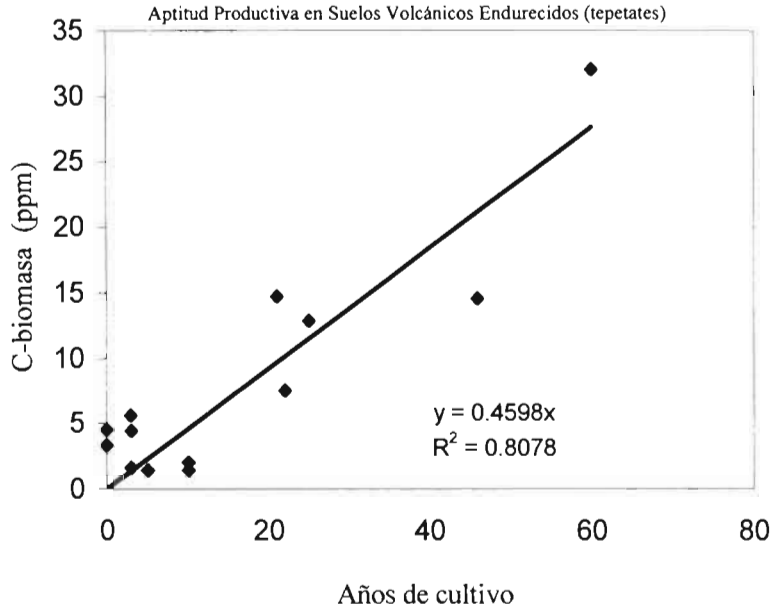


Figura. 9. Relación entre los años de cultivo y el C- Biomasa

El carbono soluble, contrariamente a lo que se esperaba, no mostró una buena relación con el C-biomasa.

Cuadro 8. Características químicas, carbono soluble y C-Biomasa en tepetates habilitados y sometidos a explotación por un número creciente de año.

Sitio	Años de Cultivo	Materia orgánica	P-Olsen	C-Soluble	C-biomasa
		%	←----------ppm----------→		
Control	0	0.9	8	0.12	3.3
HNT1-0	0	1.2	17	0.37	4.5
CPT3-3	3	0.3	18	0.28	5.6
GUT-3	3	1.6	4	0.18	4.4
CPT4-3	3	0.5	3	0.88	1.6
RFT2-5	5	1.7	13	0.19	1.4
CL-10	10	1.4	7	0.13	2.0
ERAS-10	10	0.9	3	0.88	1.4
ERAS-21	21	1.5	32	0.36	14.7
RF-22	22	1.4	12	0.31	7.5
RIV-25	25	1.1	7	0.21	12.8
SG-46	46	1.7	69	0.34	14.5
CS-60	60	1.2	16	0.66	32

Discusión y Conclusiones

Los tepetates aflorados de la Sierra Nevada, susceptibles de ser incorporados a la producción, presentan una alta frecuencia de clases bajas de disponibilidad de nitrógeno y fósforo, insuficiente para producir cualquier tipo de cultivo. Esta situación se atribuye, en parte, a la escasa presencia de materia orgánica en esos materiales. La elevación del suministro de estos elementos y la materia orgánica, constituyen las principales actividades prioritarias que se han de realizar durante el proceso de la habilitación química de los suelos volcánicos endurecidos. La materia orgánica, además de próveer nutrientes que son deficitarios contribuye a mejorar algunas propiedades físicas del suelo relacionadas con la productividad del mismo. La disponibilidad de micronutrimentos en los tepetates con pH ligeramente alcalino debe ser observada con especial atención, ya que presentan concentraciones de los mismos consideradas como bajas. Los resultados obtenidos en este estudio proporcionan información valiosa referente a la situación actual de la disponibilidad nutrimental de los tepetates no recuperados o vírgenes, que permite planear las acciones futuras referentes a manejo de los problemas nutrimentales en estos materiales.

Los estudios para evaluar: (a) los aportes de nitrógeno a los tepetates que hicieron los diferentes sistemas de cultivo y de manejo de los residuos; (b) el tipo y tamaño de los reservorios de nitrógeno orgánico que se encuentran en los tepetates con diferente tiempo de haber sido incorporados a la agricultura; y (c) la descomposición de raíces y tallos que quedan del cultivo anterior permitieron concluir que: la cantidad de residuos del cultivo anterior que se incorpora a los tepetates es función de la biomasa producida por éste y del manejo que se le da a los residuos. El suministro de nitrógeno proveniente de estos materiales es insuficiente para satisfacer la demanda que impone la planta de maíz, aún cuando los rendimientos probables sean bajos (menos de 2 toneladas por hectárea). En consecuencia es necesario emplear fertilizantes nitrogenados o abonos orgánicos para nutrir satisfactoriamente a la planta.

El contenido de materia orgánica de los tepetates habilitados para la agricultura y explotados por un número creciente de años no mostró un aumento correspondiente de ésta. Tal hecho significa que los sistemas de manejo que actualmente se emplean no son adecuados para este fin. El escaso nitrógeno que se mineralizó se encontró principalmente en el reservorio lábil. El tamaño del reservorio de nitrógeno estabilizado resultó relativamente pequeño y su aporte al nitrógeno mineralizado casi sin importancia. Ello permite concluir que el suministro de nitrógeno que hacen el cultivo anterior al cultivo siguiente está determinado principalmente por la mineralización de los residuos frescos que quedan del cultivo del año anterior. No se observó que el reservorio de nitrógeno estabilizado aumentase directamente con los años de cultivo como se esperaba. Esto se atribuyó al manejo tradicional que se hace con los residuos, el cual es de corte extractivo, esto es, la paja se retira del campo para alimentar los animales. Tal tipo de práctica no permite que se acumulen reservas orgánicas permanentes en los tepetates, lo cual dificulta, sin duda, el funcionamiento de estos materiales como suelos normales y por ende la recuperación de los mismos.

La estimación de la mineralización que experimentan los residuos del cultivo anterior durante el ciclo de cultivo siguiente, misma que se hizo midiendo la pérdida de peso de las raíces que quedaron enterradas y los tallos que se dejaron en la superficie, mostró que las raíces enterradas en el tepetate se

descomponían en mayor proporción (40% del peso original) que los residuos que quedaban sobre la superficie (8-40% del peso original, datos no presentados). En este último caso influyó el manejo que se le dio al cultivo (presencia de malezas o de material orgánico sobre la superficie) el cual afectó la humedad en la cercanía de los residuos y por ende la proporción de la materia orgánica que se descompuso.

El C-biomasa de los tepetates cultivados y sin cultivar (en promedio < 10 ppm C-biomasa) fue substancialmente menor que el de un suelo agrícola con elevado grado de tecnificación y altamente productivo (279 ppm C-biomasa) y también menor al de suelos con agricultura de temporal y explotación intensiva (134 y 133 ppm C-biomasa). El bajo valor de C-biomasa en los tepetates se atribuyó a que los residuos de cosecha son retirados, dejando sólo las raíces del cultivo, lo cual disminuye el sustrato carbonáceo necesario para que se desarrolle la biomasa del suelo. El comportamiento del N-biomasa y P-biomasa fue muy similar al C-biomasa en cuanto a su tendencia.

En los tepetates cultivados se observó que una ligera tendencia del C-biomasa a aumentar a medida que aumentaban los años de cultivo, aunque la materia orgánica no siguió igual tendencia. Los porcentajes de materia orgánica, sin embargo, tendieron a relacionarse con el fósforo extractable Olsen, indicación de que este elemento es limitante para el crecimiento de los cultivos y por consecuencia de la cantidad de residuos de cosecha que quedan en el campo. El aspecto de la biomasa microbiana en el suelo debe ser objeto de futuras investigaciones ya que el presente experimento no se llegó a dilucidar algunas incógnitas que se habían planteado inicialmente.

Bibliografía

Brito V., H. 1997. Levantamiento nutricional de los tepetates de la Sierra Nevada del Estado de México. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma del Estado de México, Amecameca, México.

Etchevers B., J. D. 1988. Análisis químico de suelos y plantas. Notas de clases. Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.

Fox, R.H. y W.P. Piekekielek. 1978. A rapid method for stimating the nitrogen supplying capability of a soil. Soil Sei. Soc Am. J. 42:751-753.

Galvis S., A. 1990. Validación de las normas de fertilización N y P estimadas con un modelo simplificado para maíz, con la dosis obtenida en la experimentacion de campo. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduado. Montecillo, México.

Galvis S., A., J. D. Etchevers y J. Rodríguez.S. 1993. Estimación de los rendimientos máximos alcanzables por maíz en áreas de temporal del estado de Tlaxcala. Terra 11: 226-234.

García E. 1981. Modificaciones al sistema climático de Koppen (para adaptarlo a las condiciones de la república mexicana. 3a Edición. Universidad Nacional Autónoma de México, México, DF.

Jenkinson, D.S, and D.S. Powlson. 1976. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil-V. A method for measuring soil biomass. Soil Biol. Biochem. 8: 209-213.

Jenkinson, D.S, and D.S. Powlson. 1980. Measure,emt of microbial biomass in intact soil cores and insieved soil. Soil Biol. Bioch. 12:579-581.

López N., U. 1995. El C, N y P de la biomasa microbiana en suelos con diversos manejos. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduado. Montecillo, México.

Obrador O., J.J. 1994. Validación de parámetros de planta y clima que se utilizan en un modelo simplificado destinado a determinar dosis de fertilización N, P y K para maíz. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduado. Montecillo, México.

Peña H., D. y C. Zebrowski. 1992. Estudio de los suelos volcánicos endurecidos (tepetates), de las Cuenca de México y Tlaxcala (México). CEE/ ORSTOM. n TS2-0212-C.

Pérez O., M.. A. 1997. Dinámica de la materia orgánica y el N en tepetates rehabilitados para la producción agrícola. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduado. Montecillo, México.

Rodríguez, J. 1993. Fertilización de los cultivos, un método racional. Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile.

ß-Shen, S. M.; G. Pruden and D. S. Jenkinson, 1984. Mineralization and inmivilization of nitrogen in fumigated soil and the measurement of microbial biomass nitrogen. Soil Biol. Biochem. 16: 437-444.

Standford, G. and S. J. Smith. 1972. Nitrogen mineralization potential of soil. Soil Sci. Soc. Am. J. 114:465-472.

Werner, G. 1988. Los suelos en el estado de Tlaxcala. Altiplano central mexicano. Gobierno del estado de Tlaxcala -Universidad Autónoma de Tlaxcala, Tlaxcala, México

Westermann,D. T. y S.E. Crothers. 1980. Measuring soil nitrogen mineralization under field condition. Agron. Journal 72: 1009- 1012.

POTENCIALIDADES AGRONOMICAS Y SISTEMAS ROTACIONALES PARA LA RECUPERACION DE SUELOS VOLCANICOS ENDURECIDOS

Hermilio Navarro G.

POTENCIALIDADES AGRONOMICAS Y SISTEMAS ROTACIONALES PARA LA RECUPERACION DE SUELOS VOLCANICOS ENDURECIDOS

Hermilio Navarro G.

Introducción

La importancia de los suelos volcánicos endurecidos también conocidos como tepetates, talpetates, cangahua, entre otros, es creciente en América Latina explicada fundamentalmente por la pérdida continua de los suelos agrícolas y el evidente interés en la recuperación de suelos erosionados, entre ellos los tepetates. La insuficiente producción de alimentos y la presión creciente sobre las tierras agrícolas justifican la roturación y remediación de los factores limitantes en los suelos endurecidos, impulsando su incorporación productiva y económica en los sistemas regionales de producción.

El objetivo es contribuir científicamente con productos que fundamenten una política productiva que fomente la gestión de los suelos degradados con presencia de tepetates, impulsar la producción mediante sistemas de manejo que contribuyan al desarrollo agrícola en zonas y regiones con recursos y tecnologías marginales, coadyuvando a la reproducción de los sistemas de producción rurales. En consecuencia, hemos considerado que se justifica valorar experiencias y generar sistemas tecnológicos para la recuperación y manejo posterior de tepetates en proceso de remediación. Hoy con el propósito de apoyar la creciente necesidad de producción de alimentos actual y futura de las sociedades agrícolas locales.tual y futura.

Características de los suelos volcánicos endurecidos y su potencial agronómico.

La utilización de los tepetates con fines agropecuarios se remonta a tiempos prehispánicos, (Navarro y Prat, 1997). En la actualidad, como resultado de un manejo deficiente y degradativo de los recursos, como es el caso de la deforestación, sobrepastoreo, erosión en agostaderos incorporados a la producción agrícola, entre varios tipos de manejo; así como por ciertas causas naturales, seria el caso de incendios forestales y lluvias torrenciales que erosionan. Entre varias casas, han ocasionado la pérdida del horizonte superficial en amplias regiones del país, en consecuencia, se ha expuesto y manifestado éste horizonte endurecido, subyacente o tepetate, para el cual se estima ocupa el 27% de la superficie de la gran región eje Neovolcánico, geo-referenciado sensiblemente en el centro de México, según Zebrowski *et al.*, (1991).

En México se reporta que estos materiales tepetatosos se encuentran principalmente localizados entre 1,800 y 2,900 msnm, en climas de tipo subhúmedos y semiáridos, caracterizados por una estación invernal seca, bien definida, de acuerdo con Quantin, (1992). A la fecha es notorio el interés creciente de rehabilitarlos con fines agrícolas; no obstante, las limitantes físicas, químicas y biológicas que los caracterizan y restringen agronómicamente para su utilización en actividades agropecuarias, de acuerdo con Navarro y Zebrowski (1992). En forma indicativa, señalaremos como características de interés agronómico las limitantes o restricciones, no solo para su enumeración, sino como propósito del sistema

tecnológico de gestión de las mismas. Entre las limitantes físicas existe consenso sobre: la dureza, el tamaño grande de los agregados después de la roturación, el tipo de porosidad interna, entre otras; entre las limitantes de tipo químico se han identificado: los bajos contenidos de nitrógeno, fósforo y materia orgánica, un pH relativamente alto. Respecto al diagnostico del estado microbiológico de los mismos, éste en una primera aproximación se aprecia con una baja población microbiana, la cual en su nivel es indicadora de una reducida actividad y calidad biológica del tepetate en el estado previo a su roturación.
Además de las limitantes agronómicas propias de los tepetates, otras limitantes ecológicas son características en las zonas agrícolas en que existen tepetates, nos referimos en forma general a las de naturaleza climática; entre las cuales se tienen: la variabilidad inter-anual de la precipitación la cual es marcadamente irregular, sea esto por la cantidad de precipitación que frecuentemente es insuficiente para las necesidades de los cultivos generalizados, como por su variabilidad temporal; también se tienen estaciones de crecimiento restrictivas para el cultivo generalizado que es el maíz y en ciertos años, también para otros cereales comunes como son: trigo y cebada; un factor de incertidumbre es también el riesgo anual de las granizadas y la presencia temprana de heladas, que generan un elevado riesgo sobre el rendimiento potencial y esperado; así como en diversos indicadores agroecológicos, como son la productividad y estabilidad de los sistemas biológicos. En este artículo se analiza, no obstante con dificultad, la tendencia de evolución entre algunas características y aptitudes del tepetate roturado y, en su caso la explicación de la productividad y la estabilidad del comportamiento en un tepetate, tipo T3, en diferentes años de utilización agrícola.

Por su naturaleza física.

En general son materiales de alteración: arcillas, sílice, caliza, óxidos de hierro. Como información de interés específico y referencial en el espacio en que se realizaron la mayoría de los protocolos experimentales y se generó la información que se analiza en este documento: el sustrato generalizado con que se trabajo es tepetate clasificado como T3. A continuación se presenta el análisis de un sitio de observación en campo, de acuerdo con Quantin (1992).
En tepetate tipo T3 se identificaron dos situaciones:
T3a: 80% de haloisita y 20% de esmectita mal cristalizada,
T3b: 90% de haloisita y un poco de interestratificado indeterminado.

Estos resultados realizados al inicio del primer proyecto de caracterización y análisis de tepetates en 1990 han sido rectificados parcialmente. A la fecha, se considera una proporción mayor de esmectita, es decir: para T3 de haloisita un contenido de cerca de 60% y de esmectita de 40%, como arcillas dominantes (comunicación personal Quantin, 1996), por lo cual es un horizonte más estable que el T2. El mismo autor precisa como importancia física de estas arcillas su estabilidad y una mayor retención del agua; sin duda que además se tiene en estos suelos una mayor correlación entre su mayor contenido de arcillas y la posibilidad de poder obtener mediante manejo agronómico una mayor cantidad de materia orgánica.
Además, Quantin (1992) reportó la presencia de óxidos de hierro y manganeso mal cristalizados que revisten las arcillas en la serie T3, o se concentran en nódulos o revestimientos en la base de T3. En términos similares, actualmente se duda su importancia en la recementación de los tepetates después de su rehabilitación y se supone, aunque no esta verificado, que son arcillas las que pueden ocasionar la compactación ulterior de los tepetates.

Análisis de los rasgos heredados y edafológicos con la finalidad de comprender el potencial para su manejo productivo.

Rasgos heredados. La matriz de los horizontes de tepetate T2a y T3 aparece masiva y poco fragmentada, algunos autores la señalan "como el caso de una alteración sin modificación estructural de una toba o de una cinerita", como toba fina, de ceniza fina consolidada por un cementante..
Para nuestro caso, en su estado normal, o sea sin roturación con fines de utilización agrícola, el tepetate T3 de color café muestra una estructura masiva, finamente recortada de fisuras verticales y perforada por tubos biológicos. Por lo tanto, es útil comentar que éste tipo de estructura en su estado original o sea tepetate sin roturar es restrictiva para el crecimiento de las plantas.

Rasgos edafológicos. La matriz se reporta sobre todo fragmentada en los horizontes B, en fisuras debidas al proceso estacional de expansión y retracción. Este proceso es muy atenuado en los tepetates típicos que son T2 y T3; de acuerdo con Quantin , (1992). Un segundo rasgo es la actividad biológica la cual es notoria a través de la presencia de vacíos biológicos (tubos de raíces y cavidades) rellenos por residuos fecales de artrópodos, restos de raíces y fitolitos silificados. Es importante aclarar que se reporta la importancia de los tubos biológicos para cortar la estructura masiva del material.
Desde la perspectiva agronómica nos cuestionamos sobre la importancia de la silicificación de los vacíos biológicos o de aquellos creados por medios físicos, como seria el caso de los originados por una roturación; cuestión que se proyecta a tener respuesta bajo causas agroecológicas de tipos de manejo anual de los agregados, como podría ser según la roturación, tipo de cultivo, aparición de eventos intensos de lluvia y estado de la cobertura vegetal, entre otros. Así como de los efectos acumulativos interanuales.

Naturaleza y génesis del cementante. Según Hessmann (1992), citado por Quantin, (1992), la intensidad del relleno de los macroporos está siempre un poco más desarrollada en los horizontes de tepetate T2a y T3, que en los horizontes B superiores. En el perfil de Tlalpan, Tlaxcala se reportó para el horizonte B un 25% de relleno y en el tepetate T2b estimó 54%. En otro perfil, se estimó en un horizonte B un relleno de 47% y en el T3 de 62%. Con resultados similares de Oleschko (1992), el mismo autor explica porque es reducida la conductividad hidráulica de los tepetates sin roturar agrícolamente
En términos similares y para inferir necesidades de manejo agronómico en protocolos de corta y media duración, es posible comentar la dificultad existente en los tepetates para almacenar agua y, en consecuencia la importancia de sus condiciones físicas de pendiente, de trabajo rugoso o no del suelo y sobre todo, considerando el tipo y frecuencia de las lluvias para permitir o no el almacenamiento de la misma, en confrontación a las necesidades de los cultivos en el marco de la rotación.
No obstante, a la fecha es controvertida la naturaleza del cementante. Una corriente supone que los revestimientos arcillosos, no son a pesar de su abundancia, el cementante del tepetate tipo fragipan, ya que la arcilla por su naturaleza es plástica y expandible. Desde otra, se reporta que estos revestimientos favorecen la acumulación de otros materiales y sobre todo de sílice y de óxidos de hierro, cuyo endurecimiento posterior después de la deshidratación provoca una cementación, de acuerdo con Quantin, (1992), Flach et al., (1992). En los términos señalados anteriormente, este supuesto esta en proceso de verificación en protocolos de laboratorio.
En tales términos y desde la perspectiva de la potencialidad agronómica e incluso económica, la pregunta para la gestión de un potencial agrícola de este tipo de tepetates seria de conocer la velocidad, cantidad y efecto de y por la movilización de arcillas, sílice y/o óxidos: en el margen de los tiempos de una recuperación en términos agroeconómicos y de su posible modelización, sea en plazos de 5, 10 y quíza no más de 20 años.

Propiedades físicas. La estructura de todos los tepetates moderadamente o no calcáreos se reporta como masiva, característica en condiciones de su estado original sin roturar.
Para la textura se reporta que todos los tepetates contienen por lo menos 25% de arcilla. Para el caso de nuestro interés de tepetates T3, se reportan los siguientes contenidos promedio sobre 5 muestras del tipo poco calcáreo y 4 muestras del material más calcáreo.
En el Cuadro 1 se observa que los tepetates T3 y en particular los no calcáreos, en estos últimos se desarrollaron la mayoría de las experiencias de los diferentes equipos, para los cuales se reportan contenidos de 31-40% de arcilla y de 11-16% de limo para la textura tipo areno - arcillo - limosa y de 46-54% de arcilla y 22-25% de limo para la textura arcillo limosa.

Cuadro 1. Análisis textural de los tepetates tipo T3

Tipo de tepetate	Textura	Arcilla	Limo	Arena
		←----------	%	----------→
T3:Poco o no calcareo	Areno arcillo-limosa	31-40	11-16	48-53
	Arcillo limosa	46-54	22-25	24-29
T3 Moderamente calcáreo	Areno limosa	8-15	12-22	68-75

En relación con la dureza se reporta que los tepetates poco o no calcáreos de las series T2 y T3 tienen un comportamiento de fragipan. Además, los tepetates T2 y T3, poco o no calcáreos con comportamiento de fragipan se desagregan parcialmente o casi totalmente en el agua, se reportan valores entre 19% a 67% de los agregados.
De interés particular para la producción agrícola es la propiedad de conductividad hidráulica, la medición en laboratorio mostró que luego de la saturación en agua y expansión, las grietas de retracción y la porosidad gruesa se cerraron en su mayoría. Por lo anterior la conductividad hidráulica es muy lenta (0.3 a 0.5 mm/hora) en los fragipanes poco o no calcáreos. La mayoría de estimaciones de estas propiedades se realizaron bajo las condiciones de los tepetates no roturados.
Del mismo interés e importancia son la porosidad y densidad. Para la porosidad total se estimo un valor siempre superior a 40%, pero la macroporosidad (>10 um) se reporta inferior a 10% del volumen y a veces inferior a 5%, sobre todo en los tepetates de la serie T3. Con apoyo en estos valores se explica un comportamiento, que ocasiona un drenaje lento y una baja capacidad de aireación para un buen desarrollo de las raíces de las plantas.
En consecuencia con el análisis de los rasgos heredados y edafológicos con la finalidad de comprender el potencial para su manejo productivo, para algunos autores son elementos suficientes para que los califiquen como "la causa de la esterilidad" de estos materiales, sin embargo, la estimación de algunas propiedades físicas en tepetate roturado y en aprovechamiento agrícola con seis años de rehabilitación, nos reportan según Fetcher. y Flores (1996) las estimaciones siguientes .

a/ la macroporosidad es mayor de 20%, la cual es muy superior a la reportada para T3 en condiciones originales, sin roturación.

b/ la conductividad hidráulica es de 25 cm/d, la cual incluso se reporta como invariable al interior de un protocolo de diferentes tipos de labranza, entre las cuales se tienen: labranza tradicional con roturación del suelo y labranza reducida.
c/ una mayor estabilidad de los agregados, la cual es significativamente diferente en el protocolo de labranza reducida con cobertura vegetal. En particular se reporta una mayor estabilidad de los agregados en parcelas con menor edad de roturación y en uso agrícola.

Posibilidades de un potencial agrícola y su riesgo por la erosión de un tepetate roturado.

La erosión es posible entenderla como la pérdida física, química y biológica y sus implicaciones ecológicas, de fracciones de horizonte y hasta de horizontes completos; como es para nuestro caso particular el proceso que ocasiona la presencia en el paisaje del tepetate T3. Este sin duda se encontraba a profundidades variables en la estratigrafía original de los suelos estudiados, en algunos casos las profundidades originales se reportan mayores a cinco metros.
Hoy no obstante, los suelos rehabilitados a partir de esos horizontes erosionados y expuestos al clima y manejo, también están sometidos, a mecanismos que ocasionan su erosión con diferentes intensidades espaciales según tipos de manejo, así como interanuales.
Una apreciación inicial sobre la magnitud de la erosión en los tepetates estimó en la vertiente oriental de la cuenca de México la pérdida de más de 16 t/ha/año de suelo en tepetates Figueroa, (1975) citado por Rivera y Oropeza 1996). Rey, (1979) citado por los mismos autores reporta una alta erosionabilidad de los tepetates en las zonas de lomeríos y áreas con pendientes pronunciadas, entendida como alta susceptibilidad a la erosión hídrica. Para el tepetate desnudo-sin roturación- se reportan pérdidas que fueron similares entre el tepetate T2 de El Carmen, Tlax. con 6 t/ha y en Matlalohcan, Tlaxcala de 7-10 t/ha. Estos valores sobre T3 son comparables a 5 t/ha reportados cerca de Texcoco, México, con una menor erosividad de las lluvias. En consecuencia, los valores de 41-51 t/ha reportados en Tlalpan se aprecian como valores anormales.
Proponemos, con la perspectiva de tratar de validar los conocimientos obtenidos considerar la importancia de discutir y comparar los métodos de cálculo en cada lugar y considerar en la comparación el perfil de las lluvias del año en cuestión para Tlalpan, Tlaxcala; ya que es distante de los otros sitios de Tlaxcala y, quizá sea otro perfil de lluvias.

Para el tepetate con barbecho (práctica de preparación del suelo con arado de discos) se estiman pérdidas de 76-78 t/ha sobre T2 en El Carmen y de 128 t/ha en Tlalpan en T3, en donde hubo dos lluvias altamente erosivas (para I30> 50 mm/h y EI>1000). En comparación se reportan valores muy inferiores en las mediciones hechas cerca de Texcoco, las cuales son de 22 t/ha, esto se explica por la presencia de lluvias menos erosivas.
En general es importante observar que la roturación del tepetate aumenta enormemente su erosividad. En consecuencia, nos obliga a identificar las prácticas agronómicas que permitan y posibiliten la disminución física y el riesgo de la erosión, como parte de una estrategia de manejo agroecológico del tepetate y, particularmente al interior del manejo rotacional, desde la perspectiva de: un suelo, una productividad y una rentabilidad durables. En el Cuadro 2 se ejemplifica la importancia de la erosión física del suelo en las condiciones reportadas de tepetates roturados y rehabilitados para fines agrícolas recientemente, se presenta la evaluación de la dinámica de erosión reportada en trabajos recientes de varios grupos, para tipo

de substratos y condiciones ecológicas similares a las experimentadas durante el trabajo de los protocolos rotacionales en Tlaxcala que se documentan en este capítulo.

Cuadro 2. Evaluación de la dinámica anual de erosión en tepetates, Tlaxcala, México (1990-91-95).

Año	Tepetate	Sitio	Erosión(t/ha)	Condición
1990	T2	El Carmen	2.6	Roturado
	T3	El Carmen	9.0	Roturado
	T3	Matlalohcan	17.0	Desnudo
	T3		18.0	Desnudo
1991	T2	El Carmen	23.0	Maíz roturado
	T3	Tlalpan	26.0	MaízRoturado
	T3	Matlalohcan	26.0	Desnudo
	T3		47.0	Desnudo
1995	T3	Tlalpan	3.7	Labranza reducida sin cobertura vegetal
	T3		3.0	Labranza. Tradicional
	T3		2.7	Labranza. Con cobertura vegetal

Fuente: Quantin, (1992); Fetcher-Escamilla et al (1996). Simposio Quito-1996 Recopilación del autor para síntesis en Taller: Comportamiento Agronómico y desarrollo agroecológico en suelos Volcánicos rehabilitados.

Referentes agronómicos en la producción de tepetates y posibilidades de interpretación del manejo rotacional.

Uno de nuestros antecedentes inmediatos desde la perspectiva del interés y potencial de producción en tepetate fueron las experiencias iniciales de evaluación de los sistemas de cultivo, tanto en el Oriente del Estado de México, como en el macizo Tlaxcala, en la zona poniente, colindante con la región cerealera de Apan, Hidalgo, según Olivares y Marquez (1992), Navarro y Zebrowski (1992).
En forma sintética dichas experiencias nos muestran la practica generalizada, aunque debida a varias causas, de la roturación al menos los últimos 20 años de diferentes tipos de tepetates y, hoy el interés y realización de numerosos cultivos regionales en parcelas agrícolas en tepetates recientemente roturados.
Estas experiencias consistieron en la evaluación de tepetates bajo manejo exclusivo de los agricultores en sus propias parcelas, para lo cual nuestra participación consistió en la caracterización del proceso de intervención de sus practicas tecnológicas y en la estimación mediante muestreo sensiblemente estadístico en campo, de diversos parámetros de desarrollo y crecimiento de las poblaciones vegetales más frecuentes o de las comunidades vegetales utilizadas; éstas últimas en general mediante la asociación de maíz-frijol o maíz-haba.

Para el tepetate T3 se reporta en el año de 1989, en el Estado. de México en 8 parcelas con promedio de recuperación de 14 años, un rendimiento medio en maíz de 1,760 kg/ha, inferior solamente en 160 kg/ha al obtenido de 7 parcelas en suelo convencional. Los resultados del Estado de México nos llevaron a identificar y privilegiar el tiempo de uso agrícola que llamamos la *edad de recuperación del tepetate*,

como un referente importante que facilita comprender en un momento o año dado su aptitud agronómica para la producción de cosechas. Con base en esta experiencia, en Tlaxcala durante el inicio de actividades agrícolas en 1990 se establecieron criterios para la evaluación agronómica de parcelas de agricultores en producción agrícola, bajo el antecedente común de ser tepetate roturado.
El criterio estructurador del análisis fue la selección de parcelas solamente en tepetate tipo T3, con base en la estimación de ser la superficie actual y potencial más importante, en el ámbito geográfico del eje Neovolcánico, de acuerdo con estimaciones planimétricas de Zebrowski, en su momento comunicación personal, la cual despues fue formalizada en un artículo (Zebrowski 1992). Bajo tal restricción apreciamos más por la experiencia obtenida e intuición la pertinencia de seleccionar parcelas con diferentes años de uso agrícola, en clases de 1, 3 y 5 años. Además, la comparación se realizaría con suelos convencionales no tepetatosos, de hecho estos servirían como testigos para explorar desde cierto referente los potenciales del tepetate.

De acuerdo a una metodología validada durante los últimos 15 años para estimar rendimientos en parcelas de productores: para maíz se seleccionaron al azar cuatro muestras por parcela, cada una de 5 metros lineales, donde se cuantifican el número de plantas y de mazorcas por unidad de superficie a partir de los cuales se estima el índice de eficiencia reproductiva; las mazorcas se cosecharon y se estimó el rendimiento despues de 48 horas de secado con aire forzado. Para evaluar el rendimiento del cultivo de trigo se diseño una "L" de 40X50 cm, de alambron, con la cual se realizan al azar 5 estimaciones de rendimiento en un rectangulo de las mismas dimensiones, se aplica el mismo procedimiento de secado. Para todos los cultivos se realiza un análisis de componentes de rendimiento, privilegiando el número de granos por unidad de superficie y el peso promedio de los granos.
Entre los principales resultados se reportan como rendimientos reales máximos de maíz para 1990 entre 3.0 y 3.5 t/ha, en el otro extremo con bajos rendimientos por insuficiencias técnicas para su manejo productivo durante el año de estudio, algunos casos tanto de tepetates, como de suelos. En forma sintética, se señala que los mejores rendimientos con valores sensiblemente similares, se observaron en suelos convencionales y tepetates roturados con 5 años de roturación y en uso agrícola permanente durante los mismos. Ambos con manejo tecnológico similar de acuerdo a las recomendaciones generalizadas, e intervenciones oportunas de las practicas culturales. Tambien fue observado, en base a la humedad favorable de 1990, que el factor principal que ocasionó la variación de rendimiento de los sistemas de cultivo de maíz, fue el diferencial de años climáticos durante los cuales los tepetates habían sido cultivado con fines agrícolas.

Cuadro 3. Rendimiento de maíz grano según número de años de uso agrícola de parcelas roturadas, Tlaxcala, 1990.

Años de cultivo de un tepetate roturado	1	3	5
Rendimiento de maíz grano (t/ha)	0.4	2.2 - 2.5	2.5 - 3.1

Fuente: Encuesta directa en parcelas de productores, Tlaxcala 1990.

Para el cultivo de trigo se evaluaron rendimientos de 1.2 a 1.5 toneladas de grano en primer año de roturación. Quizá sea el motivo de los agricultores para iniciar el primer año de uso agrícola con trigo o cebada, en comparación al maíz; lo cual se aprecia el estimar que el 80% de los productores han iniciado el primer año agrícola de su parcela con trigo preferentemente, o cebada.

Con base en las experiencias de seguimiento de parcelas de agricultores en Tlaxcala se construyó el esquema de la Figura 1, en la cual se observan tendencias de comportamiento para tres años climáticos consecutivos. El rendimiento obtenido en maíz como variable dependiente del número de años de uso agrícola del tepetate "edad del tepetate", es variable tanto dependiendo de los tres años climáticos, como al interior de los mismos, esto ultimo lo suponemos debido al manejo diferente entre parcelas de productores.

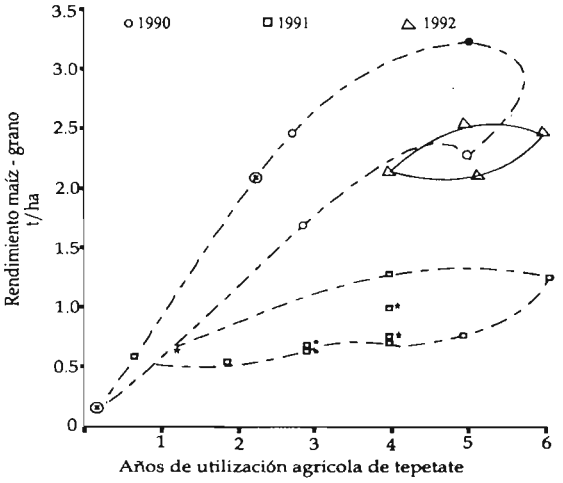


Figura 1. Variación del rendimiento de maíz en tepetates según: diferentes años climáticos y de utilización agrícola.

La Figura 1 nos muestra la diferencia de respuestas en parcelas de agricultores de acuerdo al número de años de utilización de las mismas, en general sensiblemente se puede afirmar que en parcelas con reducido número de años el rendimiento de maíz grano tiende hacia cero, al contrario se aprecian resultados en rendimiento que oscilan para años "buenos" cerca de 3 t/ha de grano y para años "malos" en 1 t/ha; con "edad" del tepetate de 5 años. La variabilidad intra-anual bien se podría explicar por las modalidades de manejo y la calidad de las prácticas.

La producción durante la rotación de cultivos y conceptos útiles para su explicación.

El análisis de la producción de materia seca desde la perspectiva agronómica de los sistemas de cultivo sin duda lleva a la consideración integral de la producción agrícola y por tanto al análisis de numerosas relaciones.

Los modelos de referencia para el análisis del sistema de cultivo y en su caso de la rotación, entendiéndose ésta ultima como una sucesión coherente y necesaria de los sistemas de cultivo para la gestión durable de los mismos, se puede apreciar en forma general en las propuestas teóricas siguientes.
El contexto del análisis nos permite considerar la rotación cultural como un sistema estructurado con fines de aprovechamiento de los recursos naturales, con ciertos propósitos de utilización y bajo cierta referencia con las normas ecológicas y agronómicas para su manejo durable.
Los componentes básicos que podemos identificar en el sistema son: el ecológico y el tecnológico. Ambos en interacción constituyendo ésta estructura mínima funcional para la gestión de los procesos biológicos, con procedimientos tecnológicos normalmente con el propósito de eficientizar el uso y valorización económica de los mismos.

Considerando el modelo de análisis propuesto, en primera instancia se privilegió conocer la base material de la producción agrícola a partir de las relaciones ecológicas fundamentales. En principio y teóricamente en la componente abiótica, conocer la cantidad de materia que recibe, transforma y transmite en el seno del sistema de cultivo y al interior del funcionamiento del sistema de producción que lo gestiona y lo hace razonablemente coherente; lo cual no obstante, no ha sido evaluado en el seno de ningún equipo. Las otras variables abióticas han sido: la temperatura, agua, nutrimentos minerales como factores de producción, estados físicos y químicos del medio, entre otros.
En términos operativos la estrategia nos llevo incluso a privilegiar la identificación y características de las limitantes y potenciabilidades. En consecuencia los objetivos privilegiaron como propósito la gestión de poblaciones y asociaciones para resolver las limitantes, desde una perspectiva agroecológica y económica. Esta última se analiza en otro eje de conocimiento de las aptitudes productivas del tepetate.
La experiencia del seguimiento de parcelas de agricultores en dos regiones y años nos facilitaron aceptar como supuesto operativo que la producción de biomasa es función de la edad del tepetate, del año climático y del manejo tecnológico de las parcelas o sistemas de cultivo. Producción en sistema de cultivo con tepetate roturado es función de los siguientes factores: edad del tepetate, año climático y manejo.
La estructura del modelo de análisis del tepetate esta basada en su componente biótica, entendida como las poblaciones y/o comunidades vegetales en aprovechamiento agroeconómico, así como aquellas que forman parte del ecosistema y están bajo cierta forma de control, como son las comunidades vegetales constituidas por las malezas, arvenses; así como aquellas que forman los insectos y microorganismos benéficos y nocivos. En principio como parte indisoluble del ecosistema.

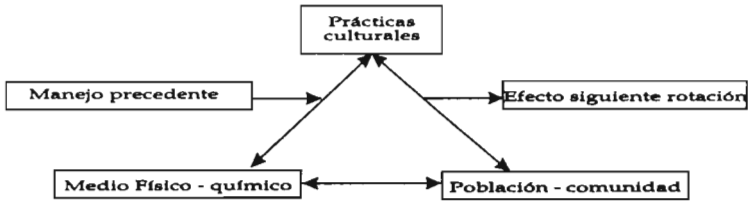


Figura 2. Modelo para el estudio agronómico del tepetate.

El esquema anterior nos ejemplifica las características propias del sistema de cultivo, por lo tanto las necesarias en condición de tepetate roturado y en particular desde la dinámica rotacional. Tambien nos lleva a privilegiar con el mismo interés, tanto el manejo precedente y las características específicas del mismo, como los resultados obtenidos del proceso específico de funcionamiento del sistema de cultivo al interior de un ciclo agrícola, como en el ámbito de la rotación considerada.
Desde nuestra perspectiva nos ilustra la ponderación similar de un factor explicativo de la obtención de cierta biomasa y rendimiento, en la tecnología. Más particularmente, desde la perspectiva de nuestro análisis la atribuimos como una variable de característica transdisciplinaria, que por su naturaleza nos facilita el análisis y explicación biológica y económica de los resultados. Nuestro modelo considera como básicos los componentes señalados, no obstante, su aporte fundamental a pesar de las dificultades que implica, nos sugiere incluir las interacciones entre el ecosistema transformado y la técnica.

En particular, para ejemplificar el uso del modelo, es importante recordar las restricciones químicas originales del tepetate T3 con relación a su pobre o bajo contenido en nitrógeno y fósforo, en relación con las necesidades de las plantas. Así mismo, subrayar la existencia de un contenido muy pobre o de trazas para la materia orgánica en el suelo. Esto nos lleva a considerar y cuestionarnos sobre la rotación la forma como se gestionan y proporcionan de acuerdo a las necesidades de las poblaciones vegetales o comunidades estos factores, además de precisar su función para la corrección o solución de las restricciones.
Con relación a las restricciones del medio abiótico regional y particularmente para las zonas del Oriente del Estado de México y la zona del bloque Tlaxcala, sin duda desempeñan un papel importante: la cantidad de lluvia y su disponibilidad durante el año; la amplitud del ciclo de cultivo sin heladas y el riesgo de las mismas; conjunto que constituyen los factores climáticos más restrictivos. En la Figura 3 se ejemplifica la variedad interanual de la precipitación entre 1990-1992 en la zona de estudio en Tlaxcala, la cual en forma obvia influye o en ciertos casos puede determinar la función de respuesta de un tepetate.
En particular para los años de las rotaciones realizadas entre 1991-95 es conveniente precisar la presencia de dos años restrictivos climáticamente. El primero se presentó en 1993 con presencia de déficit hídrico importante durante la floración y una corta duración del ciclo. En 1995 se retrasaron demasiado las lluvias y además se tuvo un déficit hídrico durante un periodo importante previo a la floración de maíz e incluso durante la misma, de acuerdo a los registros de Fetcher *et al.*, (1996).

En el año de 1995, además se tuvieron las primeras heladas el 10 de octubre, fecha en la cual algunas parcelas experimentales de la rotación, tales como del testigo e inoculación, no habían aún experimentado la floración femenina. Sin duda, para ejemplificar la importancia de los efectos climáticos sobre los procesos biológicos y los riesgos sobre los mismos, en el ámbito de la variación climática interanual.

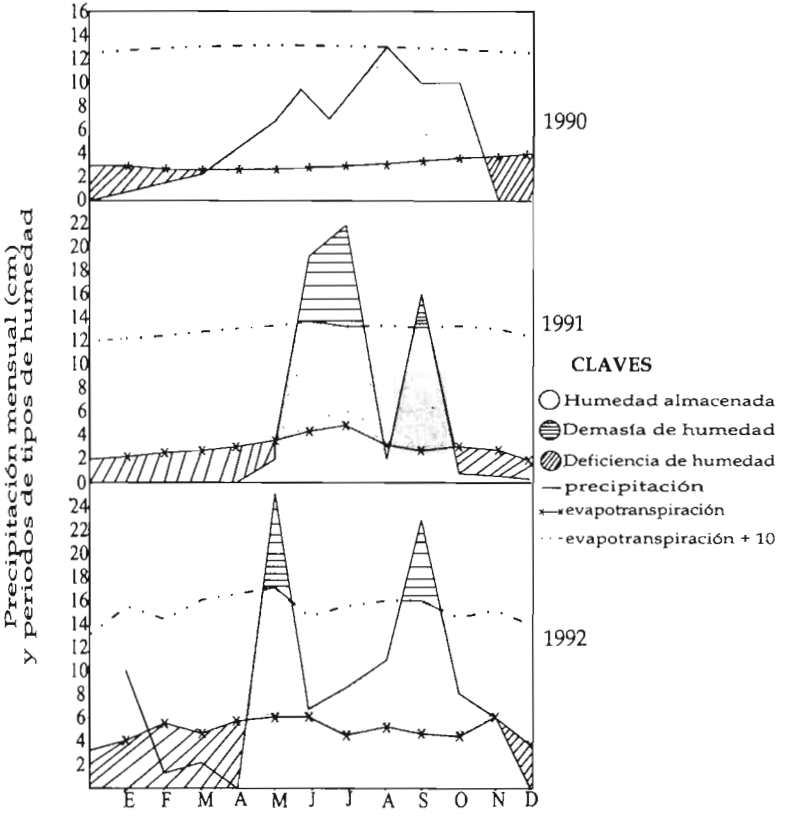


Figura 3. Perfiles anuales de precipitación y tipos de humedad (Hueyotlipan, Tlax)

La producción de biomasa en los modelos rotacionales.

Las experiencias del seguimiento de parcelas de agricultores y nuestros referentes del sistema de cultivo y del análisis de componentes de rendimiento, fueron consideradas en el diseño del protocolo experimental establecido en 1991 con el propósito de realizar un seguimiento a 5-6 años, para así definir los tipos de rotaciones a recomendar por su potencial de biomasa y rendimiento de grano, integrando la influencia de la variabilidad climática y la respuesta a un manejo específico.

Un criterio base fue iniciar las rotaciones de acuerdo a los principales cultivos utilizados es decir trigo (Triticumum vulgare) y maíz (Zea mays), éste último de acuerdo con apreciaciones agronómicas fue asociado e inoculado con el propósito de potenciar la actividad biológica del tepetate. En el mismo sentido se decidió innovar con la introducción de veza o ebo (*Vicia sativa*) por su modalidad de siembra

de cobertura para disminuir la erosión del tepetate recién roturado y como leguminosa favorecer la vida biológica.
La roturación se realizó con un tractor de oruga (caterpillar) a una profundidad variable entre 30-45 cm, se estableció un diseño de bloques al azar, con 3 repeticiones para cada unidad experimental en condición de aplicación de 40 t/ha de materia orgánica y 3 repeticiones sin aplicación. La unidad experimental fue de 4*5 m. En condiciones de temporal o producción de secano. La fertilización fue de acuerdo a las recomendaciones generales para cada cultivo. Los controles fitosanitarios se aplicaron de acuerdo a las necesidades de los mismos. También se estableció un protocolo anexo o satélite para evaluar en términos comparativos durante el mismo año otras condiciones de manejo, y ampliar la base de respuestas bajo diferentes condiciones. Se presenta el caso del maíz negro bajo condiciones normales de humedad en su año climático y con exceso de la misma de acuerdo a ciertas condiciones del protocolo.

La metodología utilizada para la estimación de variables fue diferente de acuerdo a las especies y asociaciones, en general bajo condiciones de siembra en surcos se utilizaron los surcos centrales, en siembras de cobertera fueron seleccionados siete sitios de muestreo, entre los cuales algunos de observación bajo el mismo principio y área utilizada (40*50) en parcelas de agricultores.
Consideramos que existen limitantes sobre la modelización del desarrollo agronómico del tepetate cultivado. Para ejemplificar, una limitante referida al tipo de prácticas realizadas, tales como la calidad de la preparación anual del suelo, la cantidad suficiente o insuficiente de fertilizante aplicado, el control oportuno o no de malezas, entre otras; además de la oportunidad de realización de las prácticas y su interacción con el clima. No obstante, es oportuno subrayar que al mismo tiempo identificamos un factor de confusión e indudablemente un eje organizador del análisis a futuro, éste en la importancia significativa de la variabilidad de los resultados, en particular la intra-parcelaria y aquella ocasionada por la influencia decisiva de un buen o mal año climático

Biomasa producida en el primer año

En forma indicativa, los resultados durante el primer ciclo de evaluación del sustrato o edad uno del tepetate en protocolo experimental, respecto a la producción de biomasa total y de biomasa grano, fue baja en particular para maíz. No obstante, la biomasa total y útil es muy variable según la especie utilizada. Se tuvo un rendimiento inferior a 500 kg./ha de grano de maíz y en contraparte más de 1,500 kg/ha de trigo. Cabe precisar que dicho ámbito de variación es consistente experimentalmente, así como en el seguimiento agronómico evaluativo de parcelas de agricultores reportado en párrafos anteriores.
Desde nuestra perspectiva del análisis rotacional, sin duda la producción de biomasa es un indicador confiable de la capacidad de gestión de un sustrato supuesto "estéril" e incluso, podría serlo para evaluar el modelo adecuado que ha posibilitado el desarrollo de su aptitud de producción. Sin embargo, el análisis no es fácil ya que la productividad como hemos señalado depende de varios factores.

Biomasa producida en el segundo año

La primera experiencia se encontró en la diversidad de respuestas en la producción de biomasa útil obtenida en la cosecha. En el Cuadro 4 se muestra la variación de rendimiento, en las condiciones de un protocolo experimental, bajo las mismas condiciones de manejo con el propósito de ejemplificar como

otra causa de la expresión de un potencial: la diversidad de respuestas durante un mismo año, para una misma especie utilizada y un manejo similar.

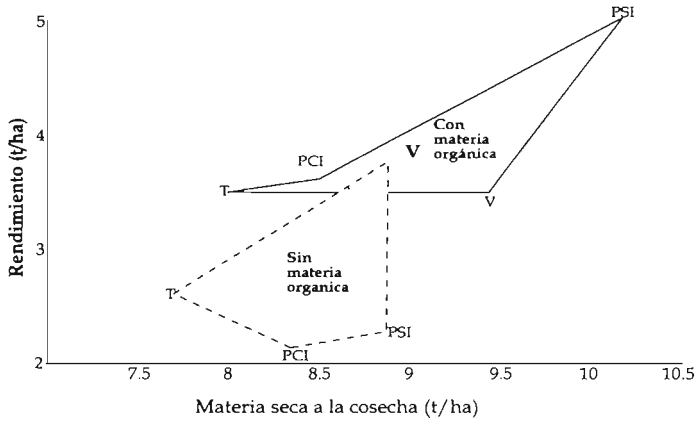
Cuadro 4. Potencial del rendimiento en tepetate según la diversidad de genotipos de maíz en Tlalpan, Tlaxcala, 1992.

Variedad	Rendimiento (t/ha)	Color del grano	Precocidad
H-23	2.01	Blanco	Muy tardío
Blanco grande	2.46	Blanco	Tardío
Palomero grande	1.99	Blanco	Tardío
Amarillo grande	2.03	Amarillo	Semi-precoz
Amarillo chico	1.90	Amarillo	Precoz
Negro	2.04	Negro	Muy precoz

El H-23 es un híbrido, los demás son materiales criollos locales, de uso generalizado. En primer termino cabe observar la variabilidad de los genotipos locales respecto a duración de ciclo de sus materiales, además del color del grano. En segundo, la diferencia entre el mejor rendimiento y el más bajo fue de 0.56 toneladas, para un buen año climático que favoreció el potencial de todos los materiales.

De acuerdo a los resultados de otro protocolo experimental, con propósitos diferentes, en el segundo año de uso agrícola del tepetate, la variabilidad del potencial se ejemplifica bajo la interacción de: los tratamientos con y sin aporte de materia orgánica y los diferentes cultivos precedentes al cultivo del maíz asociado, de acuerdo a los comportamientos de la Figura 4.

En general se observa que existen dos áreas de respuesta entre las cuales aquella formada con los tratamientos que recibieron materia orgánica es superior. La excepción es el tratamiento con precedente veza que se ubica al interior del área de respuesta de los tratamientos con materia orgánica. El precedente policultivos sin inoculación se asoció a la mejor respuesta en producción de grano de maíz, para el segundo año de uso agrícola del tepetate.



Simbología sobre cultivos precedentes
PCI= policultivos con inoculación
PSI= policultivos sin inoculación
T= Trigo
V= Veza

Fuente: Benitez y Navarro, (1994)

Figura 4. Relación entre la materia seca a la cosecha y el rendimiento de grano en maíz, bajo el efecto interactivo de la materia orgánica y del cultivo anterior.

Biomasa producida y variables de diagnóstico en el tercer año

Entre los resultados del tercer año, anticipando que teóricamente existe una mejor aptitud del suelo, es notoria la importancia del año climático. Para ejemplificarlo, se presenta el porcentaje promedio de humedad del grano al momento de la cosecha: con materia orgánica fue de 49.2% y sin de 53.7%, lo cual nos muestra lo inmaduro de los granos y la respectiva pérdida de rendimiento por el reducido peso seco de los mismos.

Otro elemento de diagnóstico del tercer año de producción se tiene mediante el análisis de la gestión de la fertilización, se aplicó la dosis: 70-60-00, en modalidad fraccionada. Este año se realizó un análisis foliar durante la etapa crítica en el período de floración femenina. Indudablemente los contenidos nutrimentales bajos en nitrógeno (1.94 %), así como de fósforo (0.23 %) ocasionaron restricciones en el desarrollo y crecimiento del cultivo y contribuyen a explicar los bajos de rendimiento obtenidos, siempre con relación a los esperados desde la perspectiva de ir mejorando su aptitud productiva cada año.

Cuadro 5. Rendimiento de grano de maíz con y sin aplicación de materia orgánica y variables de comportamiento poblacional, tepetate de tercer año. Tlaxcala, 1993.

Variables	Materia orgánica				D.H.S
	Con		Sin		
Rendimiento (kg/ha)	968.97	A	725.26	B	132.60
Plantas/m²	4.56	A	4.69	A	0.27
Mazorcas/m²	2.89	A	2.46	B	0.31
Eficiencia	63.47	A	51.84	B	6.60
Granos/hilera	20.58	A	18.52	B	1.26
Granos/mazorca	191.57	A	165.01	B	13.29
Granos/m²	553.12	A	410.12	B	69.05
Peso un grano (mg)	233.00	A	227.00	A	26.83
Días a floración femenina	107.64	A	110.88	B	1.57
Indice de cosecha	0.18	A	0.14	B	0.03

Nota:
1.- El maíz utilizado es criollo "cañuela",
2.- Los tratamientos con la misma letra son estadísticamente iguales.
DHS: Diferencia mínima significativa, Tukey 0.05%

Los resultados del tercer año muestran los bajos rendimientos de maíz, con la determinación importante del tipo año. También se observan diferencias en rendimiento, siendo superior estadísticamente con aplicación de materia orgánica, o sea que su efecto aún se manifestó tres años después.
Pero valorando el análisis de componentes del rendimiento nos preguntamos si podemos explicar como se manifiesta la restricción nutrimental del tepetate, aceptando el efecto materia orgánica. En el Cuadro 5 observamos que el número de plantas es estadísticamente igual, pero desde la perspectiva del análisis de componentes del rendimiento es notorio que el número de granos por hilera es inferior estadísticamente en el tratamiento sin aplicación de material orgánica, lo cual incidió a su vez en su menor número de granos por mazorca. De acuerdo con el análisis las condiciones nutrimentales restrictivas aún eran importantes a la floración y ocasionaron el aborto de algunas mazorcas: Para evidenciarlo se propone y ha validado un índice que llamamos de eficiencia reproductiva (número de mazorcas/número de plantas), el cual es menor bajo la condición sin materia orgánica, ya que solo produjo un 51% de mazorcas en sus plantas.
La duración del ciclo se atraso bajo el tratamiento sin materia orgánica. El componente peso promedio de los granos a pesar de ser sensiblemente inferior es estadísticamente igual, es decir que las restricciones sobre la producción se manifestaron en términos significativos hasta la floración.

En forma paralela, en el protocolo experimental anexo o satélite se evaluó la producción de maíz negro bajo dos condiciones de humedad en el terreno, una que nombramos normal y la otra con exceso en el horizonte cultural.

Cuadro 6. Comparación de medias para el conjunto de variables evaluadas en maíz negro, en dos condiciones de humedad del suelo, Tlaxcala, 1993.

Variables	Zona normal		Zona húmeda	
Rendimiento (kg/ha)	1781.91	A	818.05	B
No. Granos/hilera	20.99	A	17.79	B
No. Granos/mazorca	280.82	A	234.10	B
No. Granos/m²	1346.50	A	792.90	B
Peso de un grano(mg)	135.00	A	107.00	B
Materia seca total (g/m²)	565.55	A	322.82	B
Indice de cosecha	0.35	A	0.27	B
Eficiencia	80.18	A	80.78	A
Floración masculina	79.30	B	84.60	A
Floración femenina	81.50	B	87.20	A
Altura de planta (m)	1.39	A	1.28	B

Nota: los tratamientos con la misma letra son estadísticamente iguales

Los resultados de producción de grano en la variedad de maíz negro son útiles para ejemplificar el potencial del tepetate, en el proceso de su rehabilitación rotacional en dos sentidos. En el primero, nos permite apreciar los efectos de condiciones desfavorables de preparación de la parcela en interacción con el año climático con dos expresiones del rendimiento: un alto rendimiento con una variedad precoz, de porte bajo que estableció rápido sus estructuras vegetativas y desde temprana fecha fue mejorando la expresión de sus componentes del rendimiento: número de granos por hilera, número de granos por mazorca, fecha temprana de floración e incluso una ventaja significativa en el peso promedio de los granos.
En el segundo sentido, la expresión del potencial estará supeditada al tipo de año, en interacción en su caso con la especie. Por ejemplo: para la misma especie de maíz existe una de mayor potencial de acuerdo al tipo de año, e incluso a través de la condición de exceso de humedad se ejemplifica como el manejo puede desempeñarse como un factor limitante prioritario sobre la especie y el año.

Con relación al análisis del potencial de biomasa y la especie, en el Cuadro 6 se presentan los resultados de un protocolo experimental en trigo. En primer término se observa un rendimiento de biomasa grano superior al obtenido para maíz según una relación 3:1
La expresión del rendimiento comparando los tratamientos con aplicación y sin de materia orgánica son estadísticamente similares, a pesar de obtener una diferencia numérica de 300 kilogramos.

Cuadro 6.Componentes del rendimiento en trigo, tepetate de tercer año, con aplicación y sin de materia orgánica, Tlaxcala, 1993.

Variable	Materia orgánica			
	Con		Sin	
Tallos/m²	512.00	A	469.57	A
Espigas/m²	489.14	A	453.07	A
Eficiencia	95.45	A	96.68	A
Granos/espiga	24.83	A	25.52	A
Granos/m²	12823	A	11501	A
Peso cien granos (g)	4.42	A	4.42	A
Rendimiento (g/m²)	329.89	A	309.58	A
Materia seca aérea total (g/m²)	1268.86	A	1059.64	B
Indice de cosecha	0.32	A	0.33	A

Nota: los tratamientos con la misma letra son estadísticamente iguales

Biomasa producida y variables de diagnostico en el quinto año.

De acuerdo con el análisis del desarrollo del potencial del tepetate y las modalidades de manifestación del mismo, al interior de los modelos rotacionales, en el Cuadro 7 se presentan los resultados de rendimiento de grano de la asociación maíz - haba; con y sin aplicación de 26 t/ha de estiércol de bovino al inicio del quinto año de uso; cada una de las dos condiciones con los tratamientos siguientes: Inoculación en el cual maíz lo fue con Azospirillum y haba (*Vicia faba*) con *Rhizobium;* Starter fue la aplicación a la siembra de 15-60-0 kg/ha de nitrógeno y fósforo; Inoculación más starter fue la combinación de los dos tratamientos anteriores con la aplicación de 110 kg/ha de nitrógeno y 60 k/ha de fósforo, los cuales el nitrógeno fraccionado en dos aplicaciones y el fósforo a la siembra y, el Testigo

Cuadro 7. Productividad de la asociación maíz-haba, bajo diferente manejo agronómico en el quinto año de uso agrícola del tepetate, Tlaxcala 1995.

Tratamientos	Rendimiento		
	Maíz	Haba	Total
	←	kg/ha	→
Inoculación con M.O[1]	1105.1	1904.4	3009.5
Inoculación sin M.O	106.6	322.9	429.5
Starter con M.O.	2181.1	1452.3	3633.4
Starter sin M.O.	170.2	758.5	928.7
Inoculación + starter con M.O	2560.2	1018.7	3578.9
Inoculación + starter sin M.O	299.1	943.9	940.4
Fertilización con M.O	2848.2	853.2	3701.4
Fertilización sin M.O.	2379.3	755.5	3134.8
Testigo con M. O.	1090.0	1519.0	2609.0
Testigo sin M. O.	158.5	1093.8	1252.3

[1] M.O. materia orgánica.

Una variable sintética, que proponemos como resultado del protocolo durante el periodo de 5 años, para estimar la aptitud de producción alcanzada por el tepetate durante su rehabilitación es la arritmia reproductiva, entendida como el diferencial de días entre la floración masculina y femenina. El cultivo del maíz nos sirvió como lector, por su alta sensibilidad que hemos demostrado a condiciones limitantes en tepetate (Figura 5).

Figura 5. Potencial productivo de la asociación maíz haba en un tepetate de quinto año, Tlaxcala, 1995

Cuadro 8. Rendimiento de la asociación variedades de maíz-haba en Tlalpan, Tlaxcala, 1995

Variedad	Rendimiento		
	maíz	haba	tota
	←----------(kg/ha)----------→		
Blanco tardío	1715	909	2623
Blanco precoz	1821	618	2439
Negro	1923	1508	3431
Cañuela	2379	756	3135

Fuente. Protocolo experimental. CP

En el Cuadro 8 se observan diferencias de rendimiento entre variedades de maíz y haba explicadas posiblemente por la variabilidad del ciclo vegetativo de los maíces, de su altura y en consecuencia diferentes periodos de competencia con la población de haba lo cual nos explica los diferenciales de rendimiento en las asociaciones.

En la Figura 6. Se observa que el tepetate recién roturado tiene una diferencia entre floraciones masculina y femenina en una población de maíz cercana a 20 días y, muy bajo rendimiento de grano asociado a la

misma. A medida que el número de años de uso agrícola se incrementa disminuye el número de días entre floraciones y se incrementa el rendimiento. No obstante, la relación es más compleja, ya que años que llamamos buenos como 1992 y 1994 la eficiencia es mejor ante cierto valor de arritmia y los años malos se observa un resultado de rendimiento menos eficiente; entendiendo como malos a aquellos años con precipitación insuficiente e irregular.

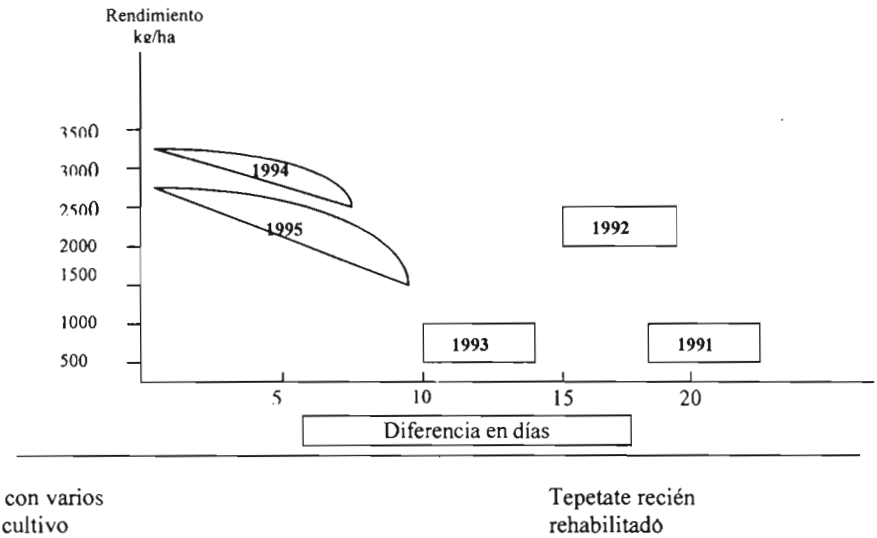


Figura 6. Desarrollo de arritmia reproductiva y rendimiento de maíz-grano con diferente edad del tepetate roturado, protocolo experimental, Tlaxcala, 1991-1995.

La Productividad de biomasa entre los prototipos rotacionales

La primera noción de los resultados es la apreciación del total de biomasa seca producida por rotación y entre rotaciones. Así podemos precisar que en promedio general por rotación, también promediado con la producción obtenida con y sin aplicación de materia orgánica: 41.5 t/ha/ 5 años, cantidad que en una primera instancia apreciamos como un valor importante de producción de biomasa.

La anticipada importancia del valor de la biomasa total, por una parte es con referencia a su origen reciente, además de ser un suelo bajo un tipo original de restricciones físicas, químicas y biológicas. Tal cantidad representa 8.3 toneladas de materia seca vegetativa/año, también significativa pero sobre todo que un sensible 25-35% de ese total representa la cosecha de granos, con su insustituible utilización como alimentos o como productos comerciales. Como referente de valor de uso se ha estimado que 2-3 toneladas de granos alimenticios son suficientes para proporcionar los requerimientos mínimos calóricos y proteicos para alimentar una familia rural en condiciones de subsistencia.

La variación de la producción total de materia seca como promedio de las rotaciones de contraste es de 44.7 t/ha con aplicación de materia orgánica, comparado con 38.7 t/ha sin materia orgánica; con una diferencia de 6 t/ha o de 15.5 % entre ambos tratamientos, o sea como el efecto de la aplicación de la materia orgánica.
Otra noción que se contempla con los resultados de producción total de biomasa en la rotación es la variación de los volúmenes totales anuales, sea entre diferentes cultivos en un mismo año, como y al mismo tiempo entre años para un mismo cultivo en sentido específico, como entre asociaciones. Pero también se tuvieron valores opuestos durante la duración de las rotaciones. Las rotaciones de baja y media producción (A-A-A-T-A y T-T-A-T-A) respectivamente tuvieron su mejor año rotacional para el mismo cultivo de trigo, en el año de 1994 y produjeron 12.3 y 10.3 t/ha de biomasa total (Cuadro 9).

Finalmente, como diferencia mayor y perspectiva de un potencial posible en las rotaciones, observamos que en la comparación de las rotaciones de contraste, con aplicación de materia orgánica, se estima una diferencia entre la rotación con alta producción de materia seca (T-A-T-T-A) contra la de baja producción (A-A-A-T-A) por un total no despreciable de 10.1 t/ha, equivalente a 2 t/año.

Cuadro 9. Producción de biomasa aérea en los prototipos rotacionales durante 1991-95.

Modalidad rotacional	Materia seca cosecha		Rendimiento total grano	
	Con M.O.	Sin M.O	Con M.O	Sin M.O
T-A-T-T-A	51,209	42,599	15,270	12,801
V-T-A-T-A	41,389	35,215	10,382	9,131
A-A-A-T-A	41,148	34,835	12,740	9,009
Ai-T-A-T-A	37,995	35,532	11,118	9,369
Ai-A-A-T-A	39,843	37,750	11,833	9,487
T-T-A-T-A	41,615	37,396	13,587	10,165
T-T-T-T-A	48,284	39,824	15,594	12,435
V-A-T-T-A	46,876	42,250	12,440	11,678
V-T-T-T-A	35,397	38,255	9,466	10,233

V: veza; A: asociación de cultivos (maíz-haba y/o frijol); T: trigo

Cabe agregar que la materia seca total con base en la parte aérea vegetativa sin duda subestima el valor total de la materia seca producida durante la rotación, junto con la materia seca radicular y los inevitables perdidas durante la cosecha experimental o comercial, la cual con facilidad puede representar hasta el 15%. Sin embargo, la noción nos facilita clasificar el potencial de las rotaciones y la tendencia entre las mismas.

en la Figura 7 se muestra los resultados de las producciones de rendimiento obtenido durante la rotación, bajo los tratamientos de aplicación o no de materia orgánica

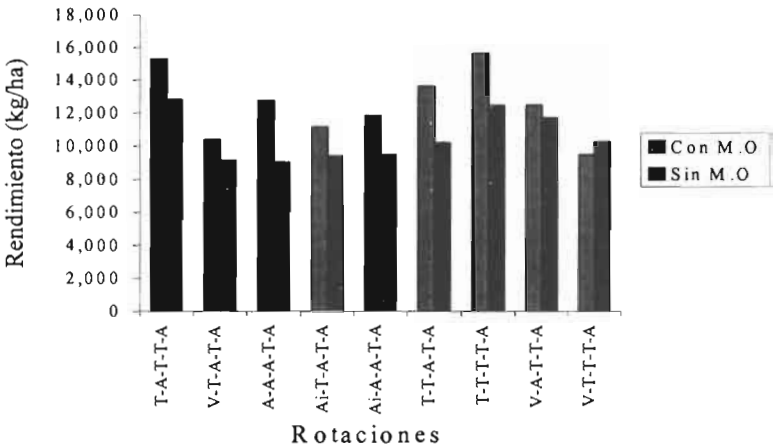


Figura 7. Rendimiento de materia seca útil en los prototipos rotacionales durante 1991-1995, Tlalpan, Tlaxcala.

A manera de conclusiones.

La investigación agronómica en condiciones locales y reales de los factores agroecológicos y tecnológicos, que actúan como determinantes de la producción de biomasa, se enfrenta con problemas de insuficiencia de conceptos orientadores, de metodología y en particular de recursos cuando ésta se realiza en agroecosistemas marginales.

La unidad de análisis es el sistema de cultivo, el supuesto es que en su diversidad son estructurantes de los sistemas agrícolas locales y regionales. El objetivo es valorarlos como la expresión de sistemas de recursos y de manejo adaptados interactivamente, determinados social y económicamente y, coherentes al interior de los sistemas de producción en que se diseñan y operacionalizan, desde una lógica mayor de toma de decisiones.
En esa perspectiva son sintéticos de decisiones transversales para la utilización de los recursos y lectores de opciones locales actuales. Su análisis nos ejemplificó los logicas de su adecuación, las experiencias locales para la rehabilitación, sin duda orientaciones importantes para el diseño posterior de los protocolos rotacionales.

La hipótesis inicial que integró en la explicación de las potencialidades productivas de los tepetates: el número de años de utilización agrícola del mismo o "edad", la calidad del año climático y las modalidades

del manejo; fue orientadora para identificar las variables que en un proceso continuo de transformación contribuyen a explicar los resultados obtenidos durante la rehabilitación.
El modelo cualitativo anterior se trató de dimensionar y validar durante los años de seguimiento, en ocasiones fue útil para rediseñar los protocolos de campo durante el proceso de evaluación de las rotaciones.

Se ilustran resultados productivos de biomasa entre diferentes especies y durante varios ciclos de los protocolos rotacionales. En su caso, se explican los resultados obtenidos con apoyo en la metodología y técnicas para el análisis de componentes del rendimiento.
Entre las variables de diagnostico se validó la importancia del índice de eficiencia reproductiva, la variabilidad del potencial intra-anual en función de la especie, la diversidad del potencial para una misma especie*año, la interacción especie*variedad*año; en si de la meta-interacción entre: especie*variedad*año*modaldidad de manejo.

Como aporte específico se propone el modelo cualitativo que correlaciona la diferencia de días entre la floración masculina y femenina del maíz, la cual llamamos arritmia, con el rendimiento del grano; en el cual se considera implicitamente la "edad"del tepetate y la diversidad de años climáticos. En su caso, es quizá una hipótesis de trabajo orientadora de una investigación a futuro.

Finalmente, señalar que los resultados observados en los protocolos rotacionales nos muestran que las expresiones del tepetate en la producción son complejas y con alta variabilidad a través del tiempo de su recuperación.
La primera noción de los resultados es la apreciación *del total de biomasa seca* producida por rotación y entre rotaciones. Así podemos precisar que en promedio general por rotación -integrando la producción obtenida con y sin aplicación de materia orgánica- es sensiblemente de 41 t/ha/ 5 años.
Valor que por su naturaleza realista y método para su estimación apreciamos como potencial importante para la producción de biomasa.

Sin duda la integración en el análisis y explicación de la variabilidad intra-parcelaria e inter-anual contribuirán para realizar un análisis integral del desarrollo del potencial agroecológico del tepetate rehabilitado, con propósitos de su aprovechamiento durable para la producción agrícola.

Bibliografía

Fechter U., Tehózol F. y Muñoz P., 1996. Maíz bajo labranza reducida en un suelo volcánico endurecido rehabilitado (tepetate t3): efectos de crecimiento y rendimiento. Tlaxcala, México. Tercer Simposio Internacional de Suelos Volcánicos Endurecidos. Quito, Ecuador.

Fetcher U. y G.Flores. 1996. Propiedades físicas de suelos volcánicos endurecidos (tepetates T3) después de su rehabilitación en Tlaxcala, México. Tercer Simposio Internacional de Suelos Volcánicos Endurecidos. Quito, Ecuador.

Flach, K. W., W. D. Nettleton y O. A. Chadewick. 1992. Los criterios de los duripanes en la Soil Taxonomy, y la contribución de la micromorfología para caracterizar los suelos endurecidos por la sílice. Terra 10: Número especial.

Navarro H. y Zebrowski C., 1992. Análisis agronómico comparativo en tepetates. En: Suelos volcánicos endurecidos. Terra 10: Número especial.

Navarro H. y D. Flores. Reporte anual 1994. Proyecto Regeneración y Conservación de Suelos Volcánicos Endurecidos y Estériles: Chile, Ecuador y México. 87 p.

Navarro G. H. y P. Muench. 1988. Marginación regional, tipos de sistemas económicos familiares y desnutrición rural. Universidad Autonoma Chapingo/ SISVAN-FAO. Reporte Técnico., 110 p.

Oleschko, C., C. Zebrowski, P. Quantin y N. Fedoroff. 1992. Patrones micromorfológicos de organización de arcillas en tepetates (México). Terra 10: Número especial.

Olivares F., y A. Marquez. 1992. Aspectos socioeconómicos y agroecológicos de la recuperación de tepetates en S. P. Ixayoc, Edo. de México. Terra 10: Número especial.

Quantin P., 1992.Etude des sols volcaniques indurés -tepetates- des bassins de México et de Tlaxcala, en vue de leur rehabilitation agricole. Rapport Scientifique final. ,Contrat CEE-ORSTOM TS2-0212, 77 p.

Rivera P. y J. L. Oropeza. 1996. Evaluación del potencial hidrológico y de la producción de sedimentos en tepetates tipo T3 con lluvia simulada. Tercer Simposio Internacional de Suelos Volcánicos Endurecidos. Quito, Ecuador.

Zebrowski C, P. Quantin H. Arias, H. y G. Werner., 1991. Les "tepetates", récupération et mise en valeur des terres volcaniques indurées au Mexique. ORSTOM, Actualités no. 33, Paris, France.

Zebrowski, C. 1992. Los suelos volcánicos endurecidos en América Latina. Terra: Número especial.

Agradecimientos.

El trabajo agronómico y en su momento la ampliación que se tuvo hacia la agro-economía, en los términos que ésta se pueda comprender, se realizaron por invitación inicial del Dr. Claude Zebrowski. El proyecto científico siempre fue apoyado incondicionalmente con su participación incansable en campo, durante la primera etapa del proyecto, tanto en la región de Tlaxcala, como en el oriente del Estado de México.

En particular, un reconocimiento amplio y sincero al arduo y agotador trabajo realizado por jovenes investigadores y colaboradores de mi equipo, a quienes debo un especial agradecimiento, los cuales por orden cronológico de participación en el proyecto fueron: la MC. Ma. Antonia Pérez O., el Ing. Diego Flores S. y el Ing. Salvador Muñoz A.

En coautoría hemos presentado avances de este proyecto en varios eventos y publicaciones, durante los años de su desarrollo.

MODELOS MATEMATICOS DE EROSION HIDRICA PARA LA OPTIMIZACION DE LA REHABILITACION DE TEPETATES CON FINES AGRICOLAS

José L. Oropeza M. y J. Donaldo Ríos B.

MODELOS MATEMATICOS DE EROSION HIDRICA PARA LA OPTIMIZACION DE LA REHABILITACION DE TEPETATES CON FINES AGRICOLAS

José L. Oropeza M. y J. Donaldo Ríos B.

Introducción

La mayor parte de los suelos del centro de México son de origen volcánico, ondulados y altamente susceptibles a la erosión hídrica. Se ha estimado que la erosión hídrica afecta un 80 % del territorio nacional, lo cual es similar a otros países de América Latina y del Caribe. Como resultado de este grado de afectación, la casi totalidad de los suelos de origen volcánico exponen a la superficie sus materiales subyacentes, llamados localmente en el eje neovolcánico mexicano "tepetates".
Los tepetates son suelos que dentro de sus perfiles presentan horizontes endurecidos que pueden estar situados a profundidades variables (Zebrowski, 1992). Se estima que los tepetates en el centro de México cubren una superficie de 30,700 km² y su grado de afectación por la erosión hídrica ha sido tal, que las capas superiores de suelo se han perdido totalmente, poniendo al descubierto horizontes endurecidos profundos, dando como resultado la aparición de áreas completamente erosionadas.
Desde el punto de vista agrícola, los tepetates son suelos muy susceptibles a la erosión hídrica, presentan materiales cementantes que inducen a la formación de costras y a su endurecimiento, presentan un régimen complejo de infiltración y percolación, un sistema de drenaje interno deficiente, producen altas tasas de escurrimiento superficial, por su dureza son suelos difíciles de preparar agrícolamente, pobres en materia orgánica y nutrimentos, presentan bajos niveles de retención de agua disponible para las plantas y por consecuencia, bajos rendimientos en su productividad (Oropeza, 1995).

La alta producción de sedimentos generada en los tepetates, ocasiona además, una serie de problemas secundarios, entre los cuales cabe mencionar: el azolvamiento de las obras de infraestructura hidráulica y su consiguiente pérdida de la capacidad de almacenamiento; alteración en la morfología y estabilidad en la red de drenaje de los ríos; encostramiento y ensalitramiento de los suelos por la presencia de materiales cementantes, carbonato y sodio; destrucción y alteración de la ecología natural de los ríos y zonas bajas en general; contaminación de las aguas de escurrimiento superficial por sedimentos, deslizamiento de taludes y formación de flujos superficiales difíciles de controlar en los terrenos de ladera.
Desde el punto de vista social, los tepetates son terrenos marginales que limitan drásticamente las posibilidades de desarrollo agrícola, ganadero y forestal y cobran mayor interés precisamente cuando las parcelas de los agricultores se encuentran enclavadas en este tipo de material volcánico de difícil manejo y baja productividad (Oropeza, 1994).
Actualmente, el crecimiento demográfico y la presión urbana en el centro de México ha propiciado que muchos productores agrícolas pobres y marginados, se vean obligados a explotar las tierras altas y de ladera, donde la combinación de los suelos altamente erosionables, prácticas inadecuadas de labranza y lluvias intensas, han creado extensas zonas de erosión que muestran cárcavas profundas. Dado que estas tierras son de temporal deficiente, una vez erosionadas, los productores emigran a las ciudades en busca de mejores oportunidades.

Desde 1989, en el Colegio de Postgraduados, se han implementado algunas investigaciones para determinar las técnicas más adecuadas en la rehabilitación de tepetates con fines agrícolas (Oropeza, 1991). Los resultados obtenidos han mostrado que los tepetates pueden ser productivos cuando se aplican prácticas adecuadas de manejo. La producción en maíz fue de 3.8 ton/ha bajo condiciones de temporal, cuando en áreas similares la producción fue únicamente de 0.7 ton/ha. Cuando los tepetates se operan bajo condiciones de riego pueden alcanzar producciones de 5 ton/ha, se deberá tomar en cuenta que la producción actual bajo condiciones de riego en el área considerada es de 4.5 ton/ha.
Aun cuando los tepetates presentan una pobre fertilización para incorporarlos a la producción agrícola son muy duros, y algunos de ellos de difícil manejo y altamente erosionables, se han estimado 25 ton/ha/año en terrenos agrícolas y más de 80 ton/ha/año en cárcavas y otras formas especiales de erosión (Oropeza *et al.*, 1995). Tradicionalmente, la recuperación de tepetates en México consiste en lo siguiente: 1) subsuelo para reducir la dureza del material, 2) aplicación de un barbecho y dos pasos de arado para propiciar la infiltración de agua, 3) aplicación de fertilizantes orgánicos y minerales, y ocasionalmente, 4) la aplicación de prácticas de conservación para el control de la erosión. La rehabilitación de los tepetates puede ser inadecuada si la erosión no se controla.

Desde el punto de vista técnico, para la incorporación de tepetates a la productividad agrícola, pecuaria o forestal, es necesario evaluar primeramente su tasa de erosionabilidad y los problemas que confronta la mecánica del proceso erosivo, sus prácticas de manejo, y tomar en cuenta la variabilidad de los materiales que lo integran, para posteriormente calcular los costos de inversión y rehabilitación, lo cual implica tiempo, trabajo y altos costos de operación.
El primer problema a resolver en la rehabilitación de los tepetates son las características físicas e hidrológicas, es decir, la evaluación de la tasa de descarga y el control de los escurrimientos superficiales dentro de la parcela y/o cuenca agrícola, esto se logra midiendo las características físicas de la lluvia e hidráulicas del escurrimiento superficial, la retención y distribución de la humedad aprovechable en los tepetates y la tasa de erosión y deposición de las partículas de suelo en relación con los cambios de uso y manejo del suelo y la evaluación de la pérdida de nutrimentos (nitrógeno y fósforo). El método utilizado para su cuantificación consiste en medir las entradas y salidas de agua (lluvia, escurrimiento, erosión y sedimentación), analizar la calidad de las aguas de escurrimiento y medir y propiciar la infiltración de la lluvia.
El segundo problema consiste en planear, diseñar y determinar los movimientos de tierra con maquinaria pesada para conformar la pendiente natural de terreno, lo que ocasiona un enorme grado de complejidad y un alto costo.
Un tercer problema consiste en proponer y establecer prácticas de conservación y de manejo agrícolas, pecuarias y forestales específicas para tepetates, fertilización y manejo de abonos orgánicos. Estas prácticas requieren información de campo y componentes específicos de manejo de cultivos, pastos y especies forestales, así como determinar las características edafológicas y climáticas, las cuales demandan largos periodos de tiempo en evaluación y costos de implementación (Oropeza, 1990).

Una de las herramientas que puede ser utilizada para ayudar a resolver estos problemas es el uso de modelos matemáticos hidrológicos y de erosión, debido a que pueden proporcionar evaluaciones cuantitativas capaces de guiar a las mejores soluciones y decisiones sobre el manejo de los tepetates (Williams, 1984). El modelo que será considerado posteriormente es SWRRB (A Basin Scale Simulation Model for Soil and Water Resources Management), propuesto por (Arnold *et al.*,1990) , (Arnold *et al.*,1991).

Objetivos

Los objetivos generales que se persiguen son: rehabilitar (roturar y conformar) tepetates e instrumentar con equipo hidrológico 22 parcelas de escurrimiento de 44 m^2 a fin de llevar a cabo registros hidrológicos continuos de entradas (lluvias) y salidas (escurrimiento, pérdida de suelo y de nutrimentos).
Generar la información necesaria para determinar en cada evento de lluvia natural, la relación lluvia, escurrimiento, pérdida de suelo y pérdida de nutrimentos entre parcelas, y su relación con su uso y manejo.
Evaluar los efectos de las coberturas natural y artificial en los tepetates sobre los sistemas de manejo y tipos de explotación agrícola y pecuaria que aseguren un buen almacenamiento de agua en el suelo, el movimiento dentro del mismo y un escurrimiento superficial controlado.
Conocer los regímenes hídricos del suelo y las tasas de erosión existentes a través de la calibración y la validación del modelo matemático SWRRB a fin de predecir un balance hidrológico en las parcelas y llevar a cabo un mejor control de los escurrimientos superficiales y caudales máximos.

Los objetivos particulares para manejar pequeñas parcelas individuales de escurrimiento son:
Determinar parámetros específicos de erosionabilidad en los tepetates necesarios para la validación de los modelos matemáticos propuestos.
Establecer prácticas experimentales de manejo para controlar las tasas de escurrimiento superficial y producción de sedimentos en los tepetates.
Manejo de la vegetación a nivel de cultivo.

Descripción de los suelos y del área de estudio

Tres perfiles de suelo que representan la serie San Miguel Tlaixpan fueron seleccionados lo más cercano posible del área experimental. Los perfiles de suelos seleccionados son los más representativos del tepetate clasificado como tipo T_3 . La información general de los tepetates tipo T_3 se presentan en el Cuadro 1.
Los tepetates tipo T_3 son suelos que presentan horizontes endurecidos de origen volcánico de la región de Texcoco, México, aparentemente, los materiales originales están constituidos por proyecciones piroclásticas bajo forma de lluvia ardiente. El tamaño de partículas corresponde a ceniza volcánica alterada en arcilla y limo fino. Las observaciones de este material con microscopio óptico indica que se trata de una toba fina compuesta de minerales angulosos y una distribución porfiro-esquelética, matriz fina y densa.
Las propiedades físicas muestran que se trata de un material arcilloso, altamente poroso con baja retención de agua, su conductividad hidráulica es muy lenta, pero se comporta como suelo friable. Al roturarse, el tepetate se fragmenta alcanzando una porosidad total de 48 a 55 %, posteriormente la porosidad se pierde por sellamiento, permitiendo velocidades de infiltración hasta de 15 mm/hr y altas tasas de escurrimiento superficial (Oropeza, 1994).

Las propiedades físicas más notorias en el tepetate tipo T_3 son: presenta un comportamiento duro al estado seco, pero friable y plástico al estado húmedo, su estructura es masiva y fragmentada en fisuras de retracción, su textura es areno-arcillo-limosa o arcillo arenosa.

Cuadro 1. Clasificación, factores de erosionabilidad y contenido de materia orgánica de los tepetates tipo T_3 en San Miguel Tlaixpan, edo. de México.

Series	Clasificación	Factores de erosión		Materia Orgánica
		K (MJ.mm/ha.h)	A (Ton/ha/año)	(%)
San Miguel Tlaixpan	Andisols: Placaquand. Suelo que tiene fragmentos de un duripan en alguno de sus horizontes. La profundidad del es de 0.10 m.	0.037	12.5	0.2 - 0.4
	Duripand: Este suelo tiene un régimen de humedad ústico. Sus horizontes presentan estratos endurecidos e impenetrables por herramientas convencionales.	0.043	14.0	0.1 - 0.3
	Lithic Haplaquand. Suelo que tiene estratos endurecidos con una mezcla de lava. Son suelos típicos del área con mezcla de arcilla y limo. Son muy susceptibles a la erosión hídrica.	0.032	17.8	0.1 - 0.3

K = Factor erosionabilidad del suelo; A = Producción media anual de sedimentos en el área de acuerdo con la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo.

Materiales y metodología

El experimento se localizó en el área comunal de San Miguel Tlaixpan, Estado. de México entre los meridianos 98° 47' 55" de longitud Oeste y 19° 29' 53" de latitud Norte al Oriente de la Cuenca de México, la altura media sobre el nivel del mar es de 2,255 m y cubre una superficie total de evaluación de aproximadamente 1,000 m^2 en los 22 lotes individuales de escurrimiento de 44 m^2.

Vertedores tipo LH con capacidad de 2 l/seg y canal de llegada (22).
Limnígrafos de registro diario Stevenson FW-1 (22).
Pluviógrafo de registro diario tipo Rossbach (1).
Pluviómetro de cubeta tipo A (1).
Cobertómetro de espejos y miras móviles (1).
Lotes de escurrimiento equipados de 2 x 22 = 44 m^2 (22)
Infraestructura hidrológica para los 22 lotes de escurrimiento
Reactivos químicos
Tinacos receptores de escurrimiento y sedimentos (44)
Tránsito, estadales y balizas.
Cuatro trabajadores de campo.
Laboratorio de Física de Suelos.

En el área Tlaixpan, estado de México, se construyeron 22 lotes de escurrimiento de 2 x 22 m., es decír 44 m^2, cubriendo una superficie aproximada de una hectárea de evaluación. El área de influencia pertenece a la cuenca del río Coxcacoaco situada en la zona oriente de la cuenca de México.
A fin de obtener las características físicas de la lluvia, del escurrimiento superficial y los parámetros de erosionabilidad en el sitio experimental, se instaló un pluviógrafo y un pluviómetro. Además, cada uno de los 22 lotes de escurrimiento se instrumentó con un vertedor tipo LH, con capacidad máxima de 2 litros/seg, un limnígrafo y 2 tinacos de lámina galvanizada para almacenar conjuntamente, en cada evento de lluvia, los escurrimientos superficiales y sedimentos transportados.
La precipitación y el escurrimiento superficial fueron medidos en cada evento de lluvia, y se llevó un registro continuo de las entradas (precipitación) y salidas (escurrimiento, sedimentos y nutrimentos) en cada lote de escurrimiento.

Con base en la información anterior se analizaron: los patrones de precipitación (hora de inicio y término del evento, cantidad, intensidad, duración, energía cinética, EI_{30}); las características físicas del escurrimiento superficial (hora de inicio y término, cantidad, duración, tiempo al pico, escurrimiento máximo y esfuerzo hidráulico, coeficiente de escurrimiento, profundidad y velocidad del escurrimiento) y pérdida de suelo y nutrimentos mayores (nitrógeno, fósforo).
Para la determinación de las características físicas de la lluvia y del escurrimiento superficial, los pluviogramas y limnigramas fueron digitalizados y procesados de manera individual mediante el programa de cómputo electrónico SIMPLE (Sistema Integral Modular para lecturas de Pluviogramas y Limnigramas Especiales), desarrollado en el Area de Física de Suelos, del Colegio de Postgraduados. Igualmente, la pérdida de suelo y nutrimentos que resultaron de cada evento de lluvia fueron determinados en el mismo laboratorio.

Los tratamientos considerados en el experimento son 7, con 3 repeticiones y cuatro efectos. En los Cuadros 2 y 3 se presenta la información sobre: la ubicación de los lotes de escurrimiento, repeticiones, diseño, manejo de los tratamientos y características topográficas de los lotes respectivamente.

Cuadro 2. Descripción de las características, efectos y manejo de tratamientos en los lotes de escurrimiento.

Tratamiento	Lotes	Manejo de los lotes									
		Roturado		Remoción		Malla		Cultivo		Estiércol	
		Si	No	Si	No	Si	No	Si	No	Si	No
T1	3, 9, 11	X		x		x			x		x
T2	2, 5, 7	X			x	x			x		x
T3	1, 8, 10	X		x			x		x		x
T4	4, 6, 12	X			x		x		x		x
T5	13, 15	X			x		x	x		x	
T5	14, 16	X			x		x	x			x
T6	17, 20, 22		x		x		x		x		x
T7	18, 19, 21		x		x	x			x		x

Cuadro 3. Pendiente (S0) y factor pendiente (S) de los lotes de escurrimiento.

Lotes	SO	S	Lotes	SO	S
	(%)			(%)	
1	4.69	0.6968	12	4.75	0.4272
2	4.59	0.4102	13	6.77	0.6703
3	4.54	0.4051	14	6.77	0.6703
4	4.63	0.4144	15	6.61	0.6489
5	4.77	0.4293	16	6.61	0.6489
6	4.77	0.4293	17	8.56	0.9297
7	4.79	0.4315	18	8.47	0.9157
8	4.68	0.4197	19	8.29	0.8879
9	4.77	0.4293	20	8.45	0.9126
10	4.63	0.4144	21	9.22	1.0361
11	4.79	0.4315	22	8.68	0.9487

S= Factor por grado de pendiente de la Ecuación Universal de pérdida de Suelo.

Con el propósito de tener unidades experimentales uniformes, con excepción de los lotes testigos, todos los lotes fueron roturados a una profundidad de 40 cm, nivelados y laboreados. La pendiente del terreno se uniformizó a 4.54 y 4.79 %. La pendiente del terreno correspondiente a lotes con tepetates naturales y no alterados variaron entre 6.77 y 9.22 %.

Efecto de la malla: Se utilizó malla de plástico del número 12 (malla de mosquitero), para medir el efecto que produce la energía cinética de la gota de lluvia al momento de impetrase contra el suelo. La malla de plástico sirvió para amortiguar y reducir la erosión por salpimiento en el lote.

Efecto de la remoción: La remoción del tepetate consiste en utilizar aperos de labranza manuales para remover al suelo y uniformizar el tamaño de los agregados entre 3 y 4 cm, para luego exponerlos a la agresividad de la lluvia y determinar la erosión máxima.

Efecto sin remoción: El efecto sin remoción se refiere al tepetate que no fue removido, sino únicamente roturado y nivelado. El laboreo manual se evitó, no hubo uniformidad en el tamaño de los agregados.
Efecto del cultivo: El lote de escurrimiento fue sembrado con cebada (*Hordeum vulgare*) de manera tradicional. En este lote no se utilizó la malla plástica debido a la cobertura natural de la vegetación. Con el propósito de observar el efecto de la materia orgánica en el tepetate, dos de los cuatro lotes sembrados con cebada, fueron abonados con 20 ton/ha de estiércol vacuno, lo que equivale a 88 kg de estiércol por lote.

Los datos de lluvia, escurrimiento, sedimentos y nutrimentos observados fueron utilizados para determinar los parámetros de erosionabilidad y validar los modelos matemáticos SWRRB (A Basin Scale Simulation Model for Soil and Water Resources Management) para simular y predecir el volumen de escurrimiento y la producción de sedimentos (Oropeza, 1990). Los datos observados en el campo y calculados a través de los modelos SWRRB fueron omparados durante la investigación.
La eficiencia de predicción se llevó a cabo utilizando un coeficiente de eficiencia propuesto por (Nash, 1988), citado por (Oropeza, 1990 y Oropeza, 1995); la cual se escribe como sigue:

$$EF = \frac{F_{obs}^2 - s^2}{F_{obs}^2}$$

donde:

EF = Coeficiente de eficiencia (en %)
F_{obs} = Varianza independiente del modelo
s^2 = Varianza residual

$$F_{obs}^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n}\left(Q_{obs} - \bar{Q}_{obs}\right)^2}{N}$$

donde:

Q_{obs} = Escurrimiento observado (en mm)
N = Número de eventos observados

$\bar{Q}_{obs}$ = Media de los escurrimientos observados (en mm)

El coeficiente de eficiencia EF se interpreta como la proporción de la varianza del escurrimiento observado Q_{obs} explicado por el modelo. Si, EF = 1, el ajuste es perfecto, contrariamente, si, EF < 0, el escurrimiento calculado por el modelo es peor que el simple escurrimiento medio.
El cultivo es evaluado midiendo la altura y la cobertura vegetal de plantas al azar en tramos de observación fijos mediante el método del cobertómetro de espejos y mirillas móviles para los cultivos del trigo, maíz y frijol, cada 10 días respectivamente. Con base en la información anterior se obtendrán curvas de desarrollo vegetativo, las cuales se relacionarán con las pérdidas de suelo y la energía cinética de la lluvia ocurridas en la misma época y de esta manera definir las prácticas de manejo del suelo.
Los cultivos alternativos fueron seleccionados usando análisis climatológico. Los potenciales de los cultivos se compararon con la información local sobre su uso o intento de uso.

Utilizando la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo modificada (RUSLE), se calcularon las posibles combinaciones de estos cultivos con objeto de reducir el valor del factor de manejo de cultivos, C a un nivel aceptable o erosión permisible (Ríos ,1989).
De igual forma, se determinó el tamaño óptimo, su distribución y la estabilidad de los agregados del suelo. El método de determinación fue a través del Rugocímetro Electrónico de Agregados (REA) diseñado por el Laboratorio de Erosión de la Universidad de Purdue, West Lafayette, Indiana. El REA fue utilizado cada 10 días en una repetición y en tramos de observación previamente determinados. Los datos resultantes fueron comparados con la pérdida de suelo y los volúmenes de escurrimiento.

Resultados

Características físicas de la lluvia y parámetros de erosión

La lluvia provoca erosión por salpicamiento, destruye y disgrega los agregados del suelo en elementos finos, haciéndolos fácilmente transportables por el escurrimiento, asimismo, favorece que la superficie del suelo se inunde, provocando el sellamiento de los poros, limitando la infiltración, aumentando la tasa de escurrimiento y propiciando la pérdida de suelo y nutrimentos.
Con el propósito de evaluar la influencia de la cantidad de lluvia y de su intensidad sobre la erosión en los tepetates, primeramente, todos los eventos de lluvia ocurridos durante los años 1994, 1995 y 1996 fueron agrupados y clasificados por su cantidad y por su intensidad media (agresividad de la lluvia). La información se presenta en la Figura 1.

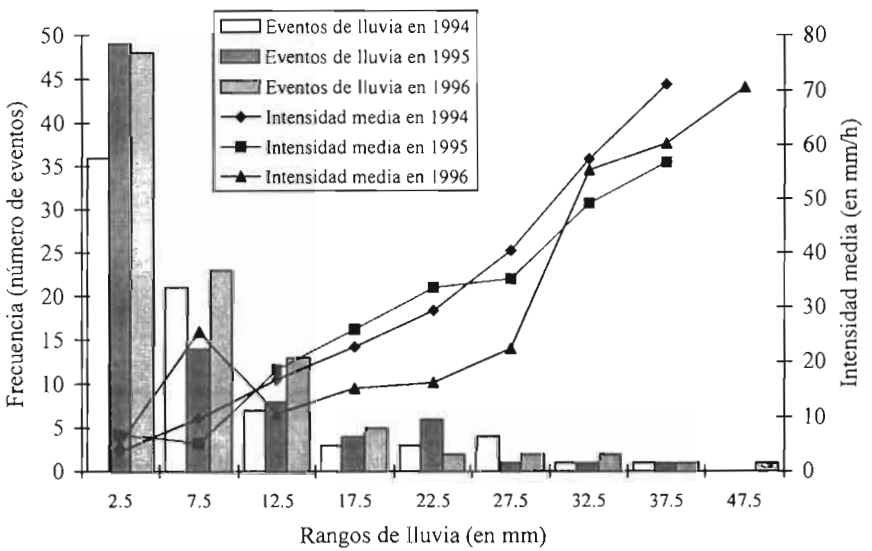


Figura 1. Distribución gráfica de la frecuencia de eventos de lluvia ocurridos y clasificación por su cantidad e intensidad media, durante los años 1994, 1995 y 1996.

El registro de lluvias fue de únicamente 7 meses, período que cubre los meses de abril a octubre, relativo al desarrollo vegetativo del cultivo de cebada (*Hordeum vulgare*). De acuerdo con la Figura 1, el número total de eventos de lluvia para los años 1994, 1995 y 1996 fueron de 76, 84 y 75 con una precipitación total de 623, 511 y 518 mm respectivamente. Los intervalos medios de clase de la cantidad de lluvia variaron de 2.5 hasta 47.2 mm, con intensidades medias entre los rangos observados de 3.75 y 73.8 mm/h.

Otras características físicas de la lluvia registradas en el período indicado fueron la distribución mensual de la cantidad total de lluvia y su relación con dos de sus parámetros de agresividad para causar erosión, es decir, su energía cinética total (EC_t) y el producto de ésta con la intensidad de la lluvia en 30 minutos (EI_{30}). Los parámetros de agresividad anteriores fueron seleccionados debido a que son los que mayormente influyen sobre la destrucción y desgaste de los agregados del suelo, los que inducen a la compactación y formación de costras y los de mayor sensibilidad a la erosión.

La distribución de estos parámetros se presenta en las Figuras 2, 3, 4 y 5 para los años 1994, 1995 y 1996.

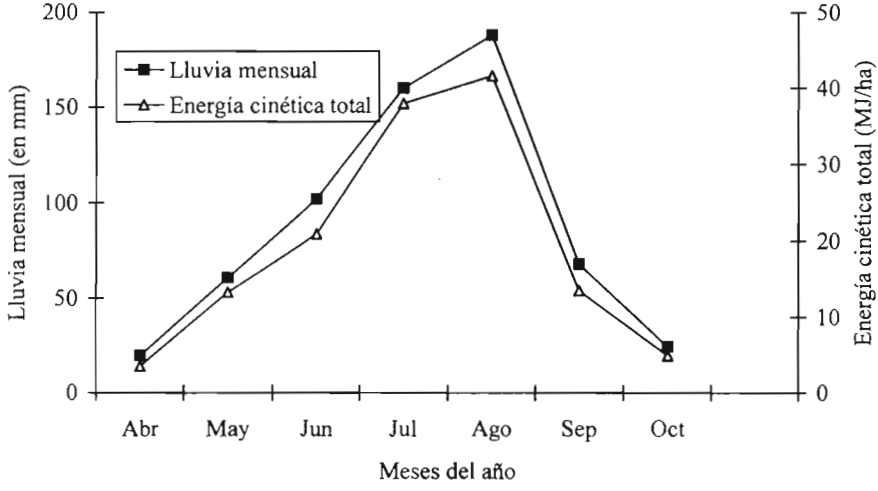


Figura 2. Representación gráfica de la distribución de la lluvia mensual y su energía cinética total (EC_t) durante 1994.

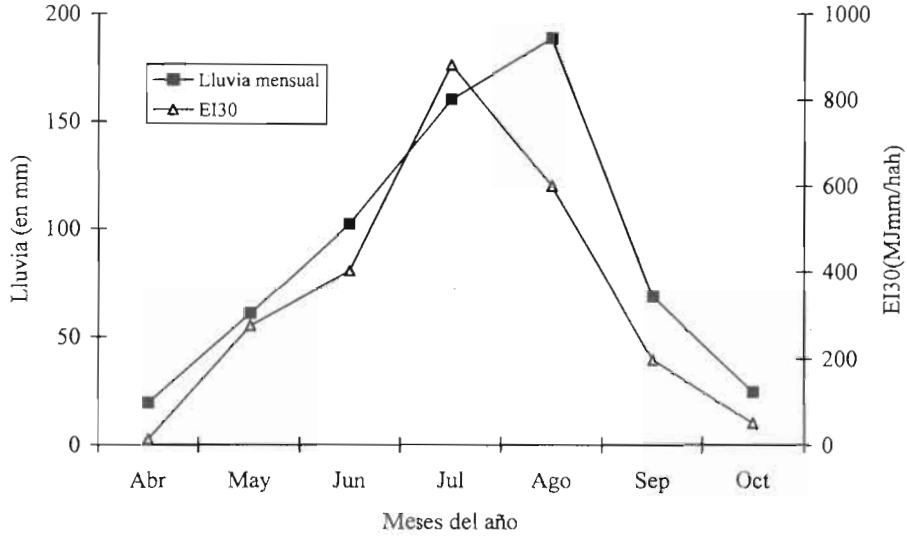


Figura 3. Representación gráfica de la distribución de la lluvia mensual y su índice de erosionabilidad (EI_{30}) durante 1994.

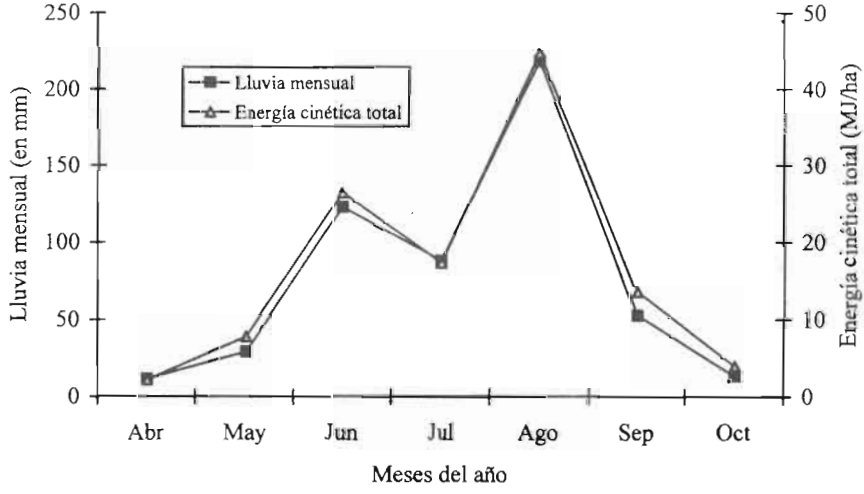


Figura 4. Representación gráfica de la lluvia mensual y su energía cinética (EC_t) durante 1995.

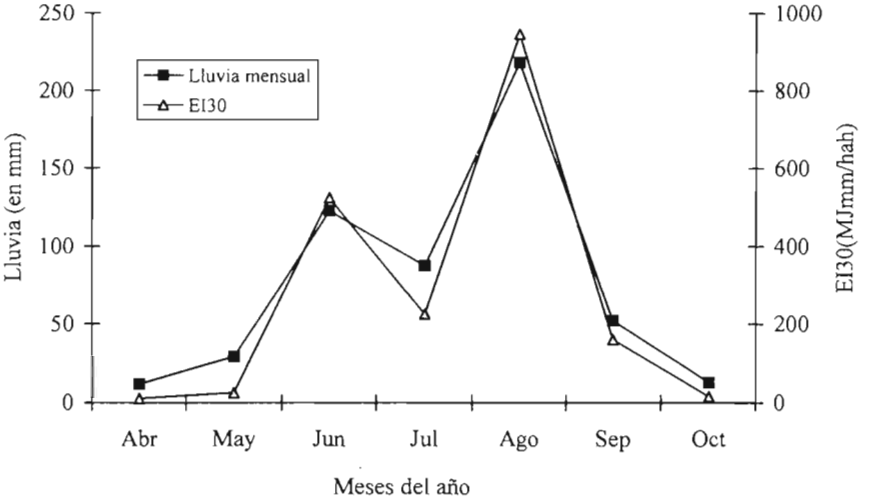


Figura 5. Representación gráfica de la lluvia mensual y su índice de erosionabilidad (EI_{30}) durante 1995.

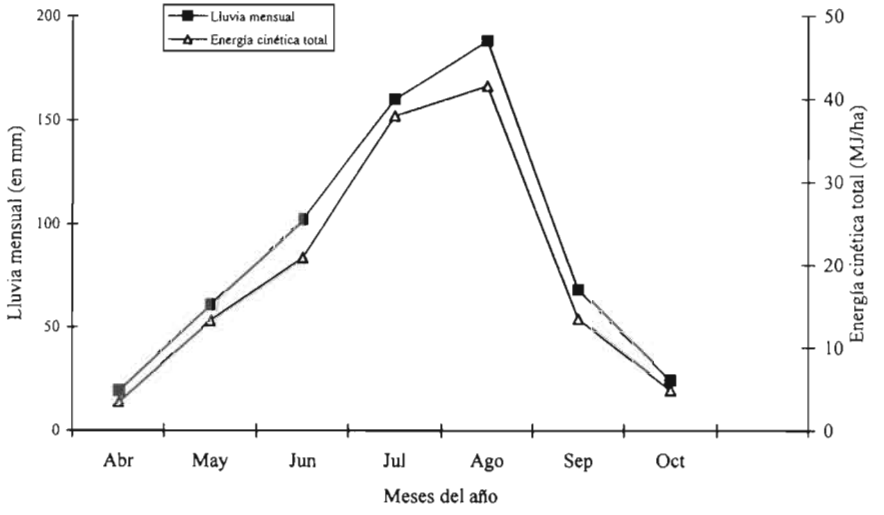


Figura 6. Representación gráfica de la lluvia mensual y su energía cinética total (EC_t) durante 1996.

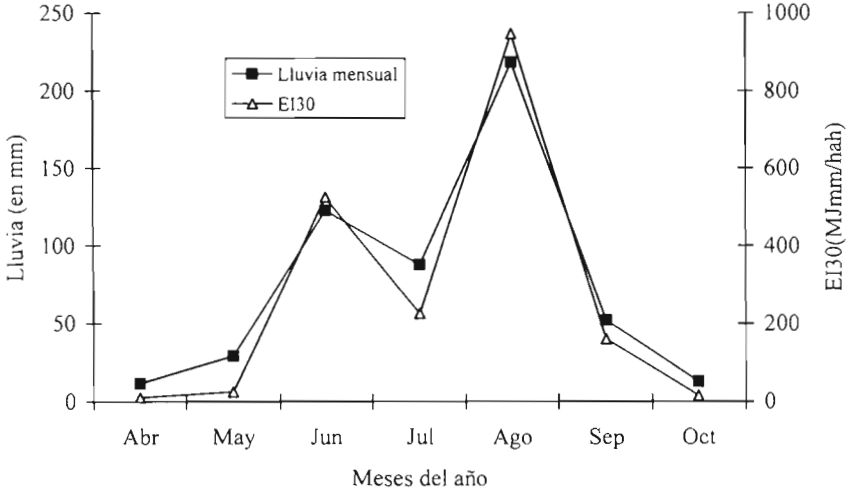


Figura 7. Representación gráfica de la lluvia mensual y su índice de erosionabilidad (EI_{30}) durante 1996.

La acción de la lluvia sobre el suelo depende de su cantidad y de su intensidad, lo que hace evidente que una lluvia de alta intensidad de sólo 10 mm provoque más daños que una lluvia de baja intensidad de 30 mm. Las Figuras 2, 3, 4, 5, 6, y 7 muestran que los meses más lluviosos y de mayor agresividad son julio y agosto para los tres años considerados en el sitio experimental.

Escurrimiento superficial y características físicas del suelo

El escurrimiento superficial se produce cuando el tepetate no puede absorber toda el agua de lluvia que recibe, dando origen a distintas formas de pequeños canalillos. Una vez que la acción dispersiva de la gota de lluvia produce el desprendimiento de las partículas in lividuales del suelo, el escurrimiento se encarga de transportar los elementos finos, nutrimentos y materia orgánica del suelo, disminuyendo de esta manera su potencial productivo, físico y biológico. Posteriormente, los sedimentos son depositados agua abajo , si la pendiente disminuye o encuentra un obstáculo, de otra forma, pueden alcanzar la red de drenaje del río y llegar hasta el lago de Texcoco.

En las Figuras 6 y 7 se presenta de manera general la variación mensual de la cantidad de lluvia, escurrimiento superficial y la pérdida de suelo que tuvo lugar durante el período de abril a octubre para los años 1994 y 1995.

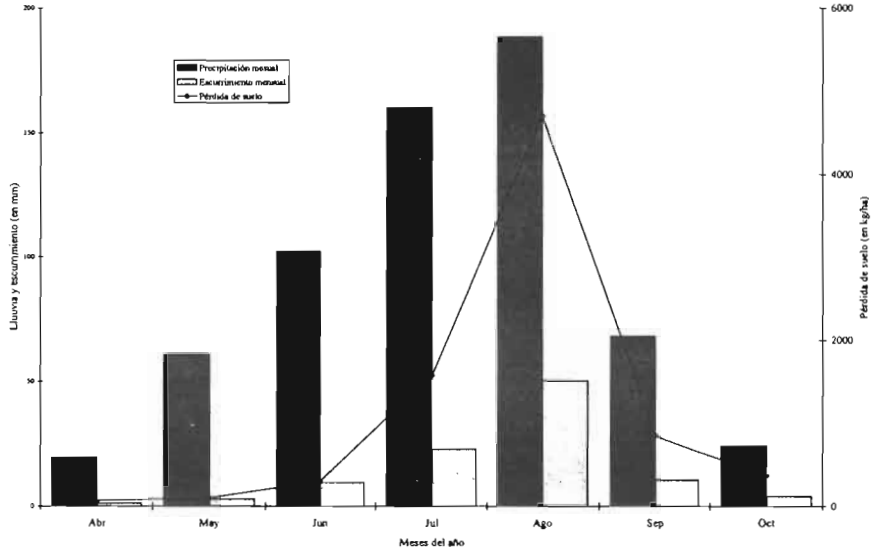


Figura 8. Representación gráfica de los valores mensuales de lluvia, del escurrimiento superficial y la pérdida de suelo durante 1994.

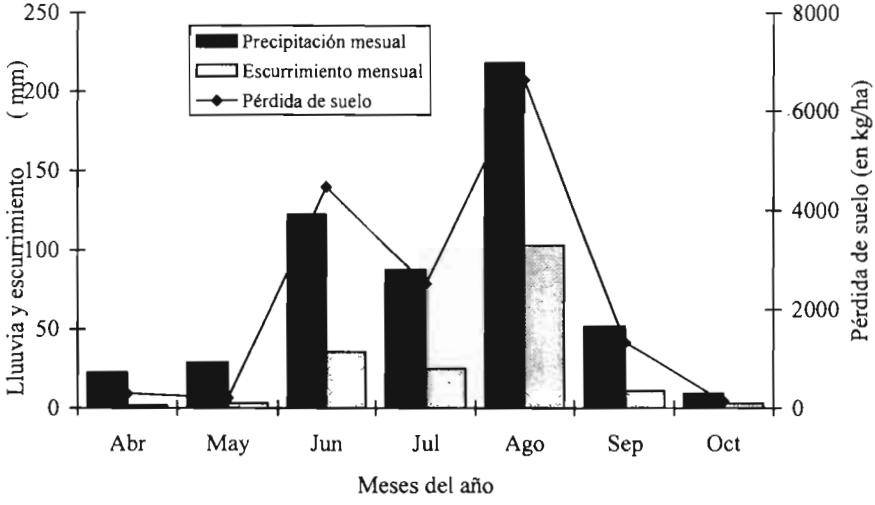


Figura 9. Representación gráfica de los valores mensuales de lluvia del escurrimiento superficial y de la pérdida de suelo durante 1995.

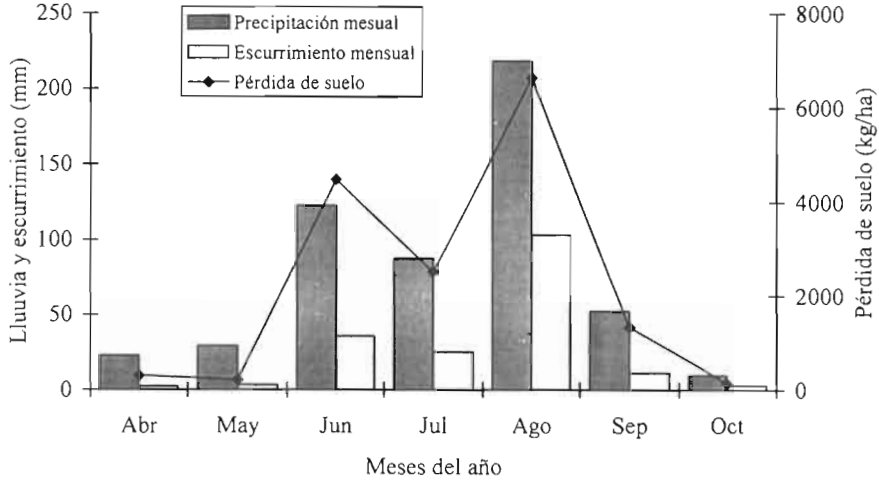


Figura 10. Representación gráfica de los valores mensuales de lluvia, del escurrimiento superficial y la pérdida de suelo durante 1996.

De manera más objetiva, las Figuras 8 y 9 muestran la variación total del escurrimiento superficial y la pérdida de suelo por tratamiento y por lote de escurrimiento para los años 1994 y 1995.

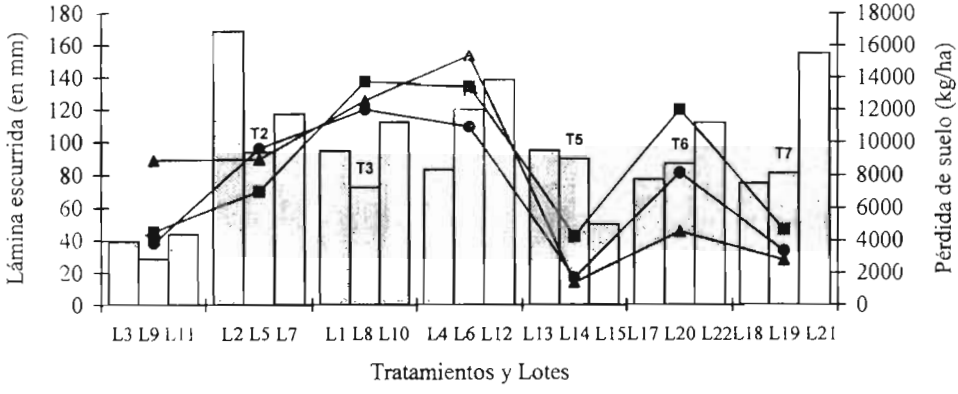


Figura 11. Presentación gráfica de la lámina escurrida y la pérdida de suelo resultante de cada tratamiento y por lote de escurrimiento durante el año 1994.

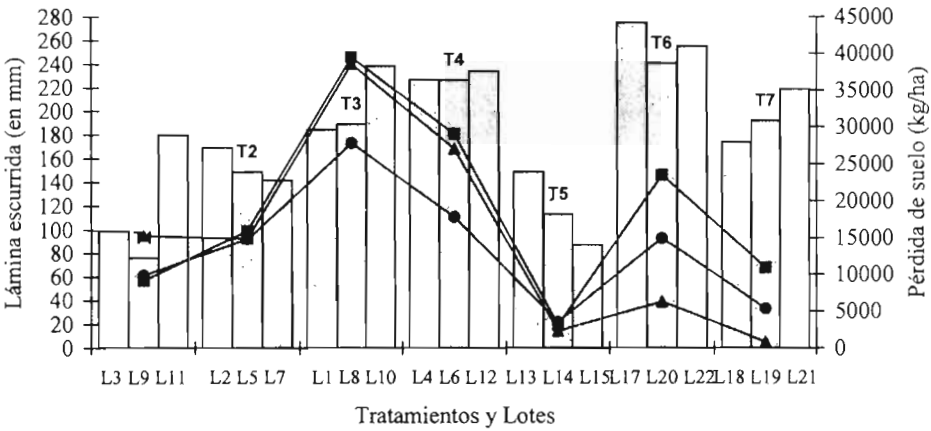


Figura 12. Presentación gráfica de la lámina escurrida y la pérdida de suelo resultante de cada tratamiento y por lote de escurrimiento durante el año 1995.

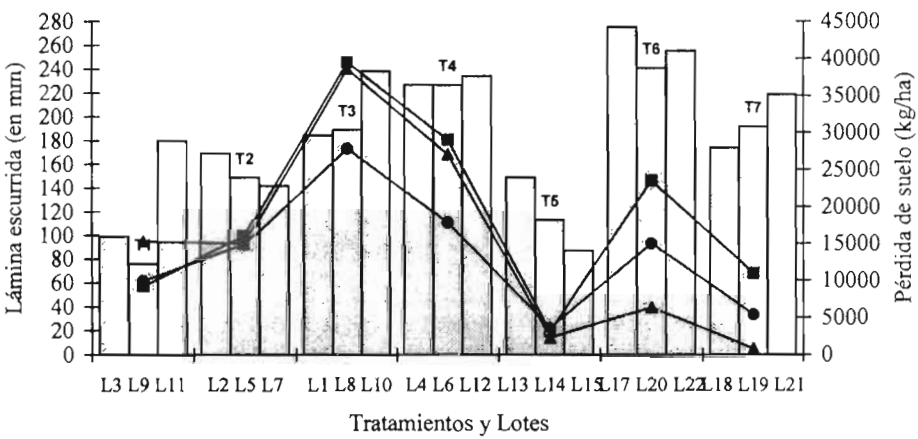


Figura 13. Presentación gráfica de la lámina escurrida y la pérdida de suelo por tratamiento y por lote de escurrimiento durante el año 1996.

Las Figuras 11, 12 y 13 muestran que en todos los tratamientos y en cada repetición, los lotes presentaron altas tasas de escurrimiento superficial. Lo anterior se debe a que los tepetates presentan bajo porcentaje de porosidad y generalmente, la mayor parte de los poros se encuentran sellados por elementos finos del suelo. A continuación, en las Figuras 14, 15 y 16, presentamos los resultados correspondientes a la pérdida de suelo total por tratamiento y por lote para los tres años de evaluación.

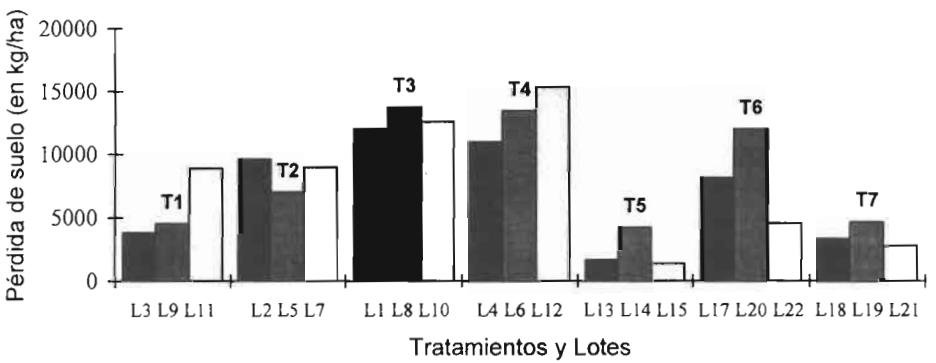


Figura 14. Representación gráfica de la pérdida de suelo en los lotes de escurrimiento correspondiente a los 7 tratamientos y sus repeticiones durante 1994.

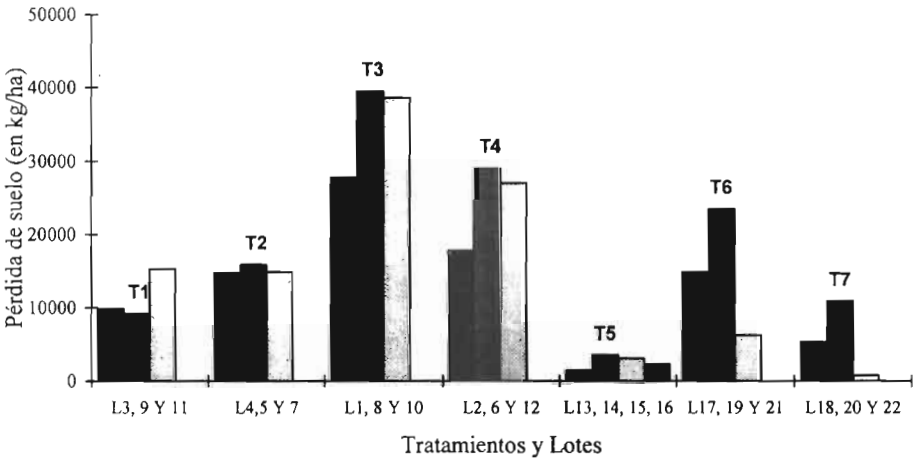


Figura 15. Representación gráfica de la pérdida de suelo en los lotes de escurrimiento correspondiente a los 7 tratamientos y sus repeticiones durante 1995.

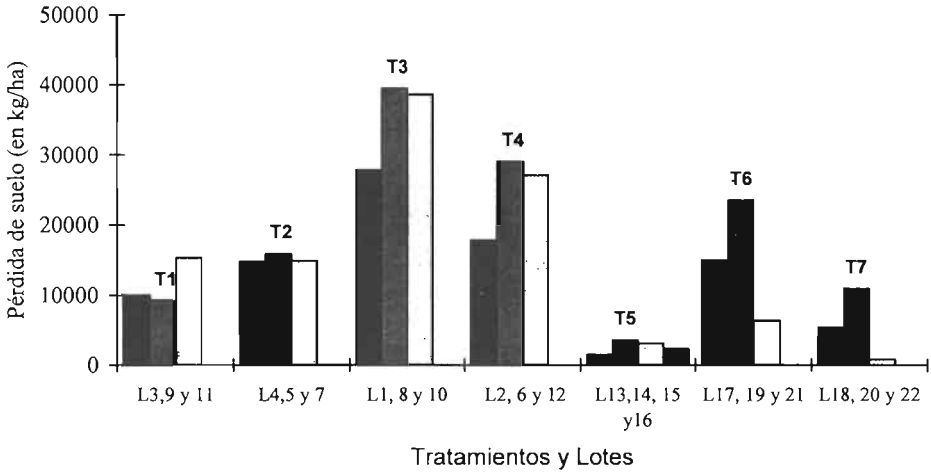


Figura 16. Representación gráfica de la pérdida de suelo en los lotes de escurrimiento correspondiente a los 7 tratamientos y sus repeticiones durante 1996.

Las Figuras 10 y 11 muestran que la pérdida de suelo por tratamiento y por lote, para los dos años de evaluación resultó ser muy consistente, lo que nos permite aseverar que hubo consistencia experimental en los tratamientos y en su manejo. No obstante, la diferencia en pérdida de suelo entre 1994 y 1995 fue muy significativa, ya que las pérdidas de suelo de 1995 se multiplicaron por 2 con respecto a las de 1994. Las diferencias en cantidad de suelo perdido se debe al incremento de la energía cinética total de la lluvia en 1995, no obstante la diferencia en el número de eventos y la cantidad de la lluvia. Esta misma observación la detectamos en las Figuras 3 y 5.

Escurrimiento, pérdida de suelo y pérdida de nutrimentos

Los tepetates naturales expuestos a la erosión son suelos que producen altas tasas de escurrimiento superficial y generalmente son pobres en nitrógeno y fósforo total y materia orgánica. Se ha reportado que la baja fertilidad es la principal limitante de los tepetates para su reincorporación agrícola. Algunos experimentos desarrollados sobre tepetate, muestran que el suministro de nitrógeno y fósforo son los elementos que se encuentran, en general, en niveles inferiores a la demanda que ejercen los cultivos.

A continuación, los Cuadros 5, 6 y 7 presentan las tasas de escurrimiento superficial, la pérdida de nutrientes totales anuales (nitrógeno y fósforo total) y la pérdida de suelo total anual por tratamiento y por lote para los años 1994, 1995 y 1996.

Cuadro 5. Resultados del escurrimiento Superficial medido y calculado por el modelo SWRRB,pérdida de nitrógeno total, pérdida fósforo total y pérdida total de suelo medido y calculado por tratamiento y por lote registrados durante el año 1994.

T	Lotes	Q_{obs}	Q_{cal}	N	P	A_{obs}	A_{cal}
		mm	mm	kg ha^{-1}	kg ha^{-1}	kg ha^{-1}	mm
	3	33.50	37.15	4.41	0.94	3,819.73	4,129.11
T1	9	21.65	28.40	4.31	1.13	4,531.52	4,618.79
	11	43.77	47.10	4.58	1.00	8,881.13	8.913.45
	2	168.65	171.45	3.15	1.16	9,610.63	10.114.78
T2	5	93.94	97.05	3.29	1.13	7,003.39	7.310.40
	7	117.42	122.35	3.10	1.25	8,970.57	9.112.61
	1	94.62	100.81	6.34	1.78	12,004.42	11.845.09
T3	8	72.59	81.29	6.01	1.89	13,748.60	14.281.37
	10	112.43	124,64	6.18	1.86	12,567.73	11.955.93
	4	83.30	91.45	5.16	2.23	10,955.90	10.751.10
T4	6	120.06	127.37	5.20	1.94	13,451.71	13.879.23
	12	138.49	141.64	4.99	1.74	15,348.94	15,873.19
	13	94.88	103.31	1.02	0.64	1,699.04	2,981.64
T5	14	89.87	91.37	0.88	0.71	4,244.83	3,750.41
	15	46.99	47.07	0.97	0.56	1,391.51	2,561.88
	16	-	114.81	-	-	-	12,846.91
	17	77.44	81.55	2.23	1.09	8,142.04	7,132.16
T6	20	87.01	94.16	2.17	1.17	12,002.34	11,102.55
	22	112.22	117.89	2.08	1.03	4,549.60	5,141.44
	18	75.11	90.11	1.91	1.92	3,371.76	3,811.22
T7	19	81.32	97.23	1.81	1.99	4,672.05	4,639.00
	21	155.09	169.12	1.93	1.73	2,798.99	2,917.81

Q_{obs} = Escurrimiento superficial (mm) N = Pérdida de nitrógeno total (kg ha^{-1})
Q_{cal} = Escurrimiento superficial (mm) P = Pérdida de fósforo total (kg ha^{-1})
A_{obs} = Pérdida total de suelo (kg ha^{-1}) A_{cal} = Pérdida total de suelo (kg ha^{-1})

Cuadro 6. Resultados del escurrimiento superficial medido y calculado por el modelo SWRRB, pérdida de nitrógeno total, pérdida fósforo total y pérdida total de suelo medido y calculado por tratamiento y por lote registrados durante el año 1995.

T	Lotes	Q_{obs}	Q_{cal}	N	P	A	A_{cal}
		mm	mm	kg ha^{-1}	kg ha^{-1}	kg ha^{-1}	kg ha^{-1}
	3	99.01	112.28	3.29	1.35	9,883.20	10,119.13
T1	9	76.17	81.45	2.35	1.14	9,175.69	9,294.71
	11	179.98	207.64	4.86	1.46	15,289.52	15,544.38
	2	169.35	161.31	3.84	1.54	14,783.15	15,284.17
T2	5	148.84	164.99	3.31	1.13	15,911.95	16,191.37
	7	141.77	160.11	3.68	1.26	14,878.28	15,267.11
	1	184.39	207.34	5.64	2.12	27,805.38	28,522.13
T3	8	188.89	203.38	5.97	2.84	39,481.52	40,171.55
	10	238.30	224.28	7.73	3.28	38,593.38	39,651.11
	4	226.92	231.19	5.85	3.92	17,822.97	18,124.15
T4	6	226.67	247.17	5.43	3.14	29,025.87	29,138.25
	12	234.13	251.14	6.49	3.45	27,033.99	27,294.00
	13	72.30	109.11	1.01	0.42	1,471.22	1,761.43
T5	14	148.83	171.22	1.43	0.73	3,533.77	3,650.11
	15	113.20	137.00	0.99	0.53	3,076.35	3,164.05
	16	87.148	100.11	0.87	0.79	2,293.10	2,746.21
	17	274.92	281.55	2.54	1.19	14,912.91	14,992.91
T6	20	240.64	291.61	2.13	1.73	23,478.42	24,009.64
	22	255.08	277.15	2.03	1.96	6,269.79	6,841.03
	18	173.83	190.14	2.25	1.52	5,349.12	5,184.26
T7	19	191.84	217.33	2.59	1.98	10,902.63	11,331.72
	21	218.90	229.93	2.35	1.64	6,269.79	6,611.94

Q_{obs}=Escurrimiento superficial (mm) N= Pérdida de nitrógeno total (kg ha^{-1})
Q_{cal} = Escurrimiento superficial (mm) P= Pérdida de fósforo total (kg ha^{-1})
A_{obs} = Pérdida total de suelo (kg ha^{-1}) A_{cal}=Pérdida total de suelo (kg ha^{-1})

Cuadro 7. Resultados del escurrimiento superficial medido y calculado por el modelo SWRRB, pérdida de nitrógeno total, pérdida fósforo total y pérdida total de suelo medido y calculado por tratamiento y por lote registrados durante el año 1996.

T	Lotes	Q	Q_{cal}	N	P	A	A_{cal}
		mm	Mm	kg ha^{-1}	kg ha^{-1}	kg ha^{-1}	kg ha^{-1}
	3	128.80	131.50	3.71	1.10	4,353.37	14,418.11
T1	9	155.66	159.28	2.64	11.7	17,765.92	17,983.19
	11	161.87	170.09	4.41	1.32	17,058.41	17,324.81
	2	158.78	163.56	3.72	1.639	9,109.72	10,181.67
T2	5	136.29	138.37	3.18	1.59	16,898.18	16,283.54
	7	123.97	128.71	3.73	1.61	12,608.87	12,834.76
	1	148.05	152.31	5.82	3.35	45,784.64	45,824.37
T3	8	168.43	170.83	6.16	3.41	51,102.07	51,621.30
	10	179.78	186.91	7.93	3.27	43,302.24	43,672.91
	4	166.72	170.33	6.09	3.07	33,150.42	33,411.53
T4	6	208.18	215.37	5.64	3.15	37,158.23	37,161.25
	12	187.00	190.78	6.63	3.29	20,493.00	20,531.18
	13	83.19	90.44	0.93	0.32	2,103.41	2,643.28
T5	14	36.55	43.34	0.83	0.49	4,214.09	4,350.17
	15	86.27	90.37	1.03	0.5.3	2,930.92	3,137.46
	16	71.10	78.77	0.79	0.43	1,189.09	1,346.37
	17	114.83	121.49	2.28	1.83	15,006.38	15,192.98
T6	20	101.28	113.81	2.09	1.79	37,662.59	38,108.17
	22	231.83	244.26	2.01	1.80	10,283.63	10,134.00
	18	196.37	201.87	2.56	2.02	4,203.18	5,114.64
T7	19	241.05	253.87	2.52	1.99	9,801.14	10,131.92
	21	200.47	213.58	2.47	1.96	4,466.82	4,434.37

Q_{obs}=Escurrimiento superficial (mm) N=Pérdida de nitrógeno total (kg ha^{-1})
A_{obs}=Pérdida total de suelo (kg ha^{-1}) A_{cal}=Pérdida total de suelo (kg ha^{-1})
A_{obs}=Pérdida total de suelo (kg ha^{-1}) A_{cal}=Pérdida total de suelo (kg ha^{-1})

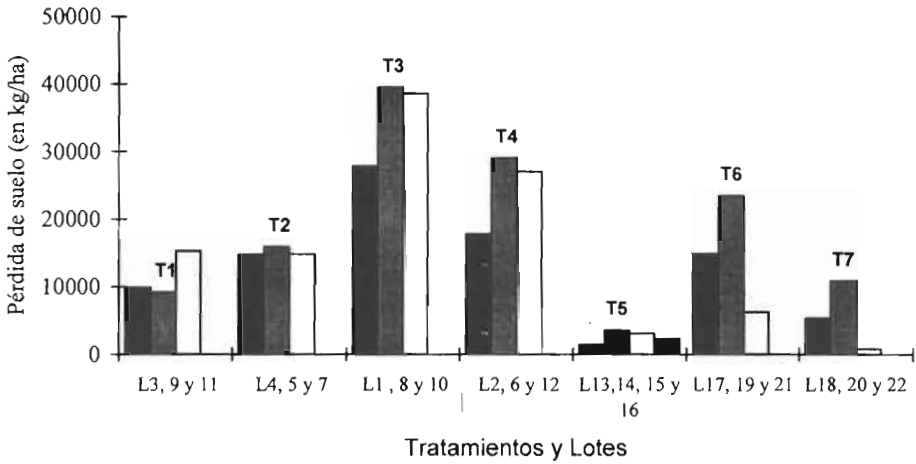


Figura 17. Representación gráfica de la pérdida de nitrógeno por tratamiento y por lote durante el año 1994.

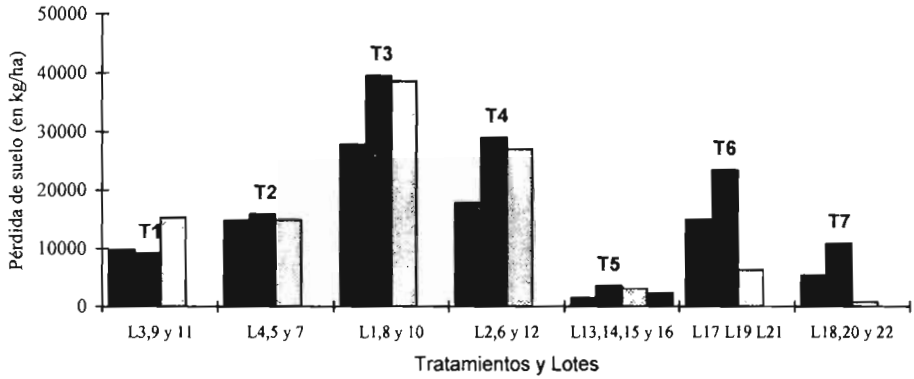


Figura 18. Representación gráfica de la pérdida de nitrógeno por tratamiento y por lote durante el año 1995.

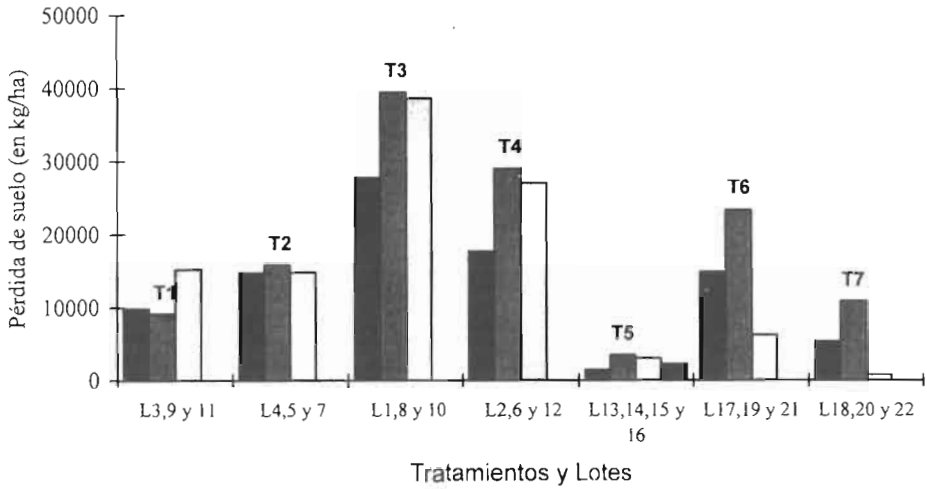


Figura 19. Representación gráfica de la pérdida de nitrógeno por tratamiento y por lote durante el año 1996.

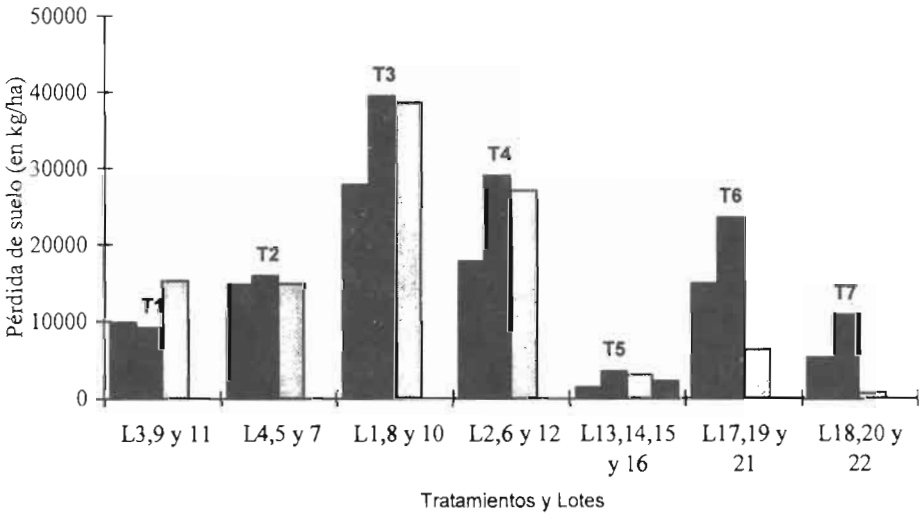


Figura 20. Representación gráfica de la pérdida de fósforo por tratamiento y por lote durante el año 1994.

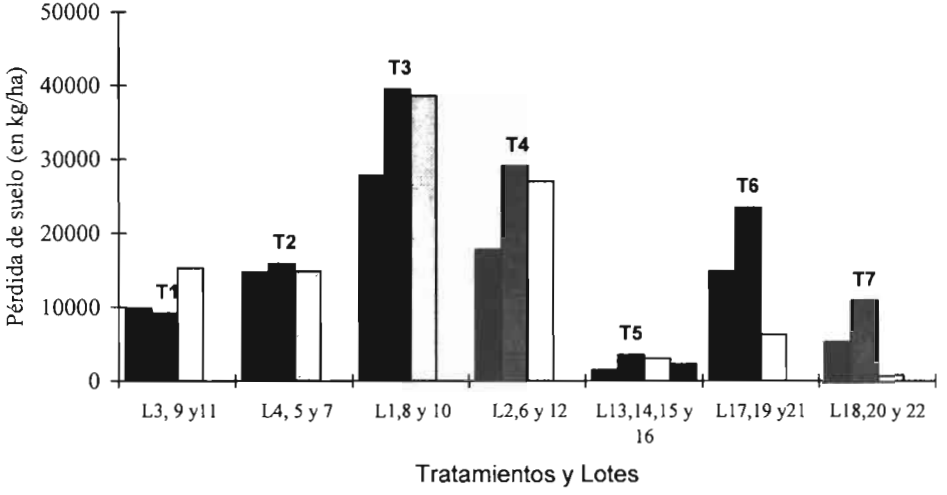


Figura 21. Representación gráfica de la pérdida de fósforo por tratamiento y por lote durante el año 1995.

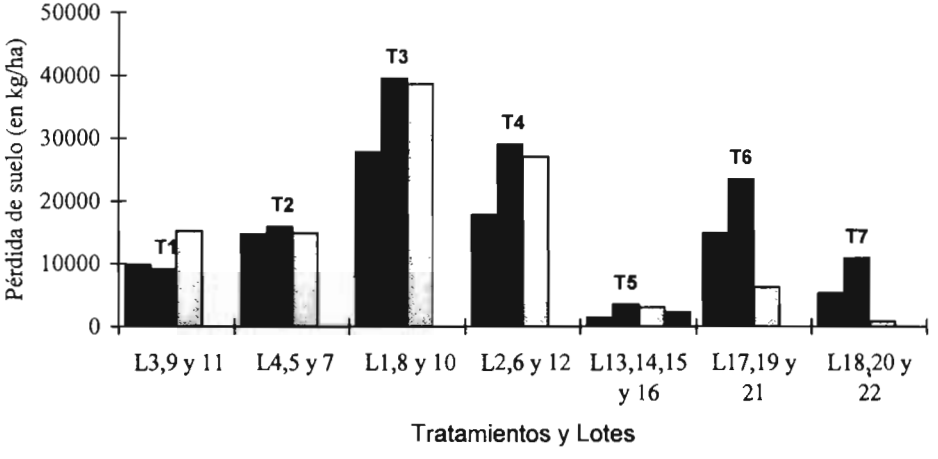


Figura 22. Representación gráfica de la pérdida de fósforo por tratamiento y por lote durante el año 1996.

A pesar de la baja fertilidad que la literatura reporta para los tepetates, durante los tres años de evaluación de nuestro experimento, los tepetates t3 presentaron una enorme pérdida de nutrimentos arrastrados por el escurrimiento superficial, lo que hace pensar que el origen del nitrógeno provenga de la lluvia, ya que en el experimento no se utilizó ningún tipo de fertilización mineral, únicamente, los lotes 13 y 15 del tratamiento T5 fueron abonados con 20 t/ha de estiércol vacuno, lo que equivale a 88 kg. de estiércol por lote. Sin embargo, las mayores pérdidas de nitrógeno y fósforo ocurrieron en los lotes 1, 8 y 10 representados por el tratamiento t3 y los lotes 4, 6 y 12 representados por el tratamiento T4 respectivamente. De igual manera, las mayores tasas de escurrimiento y pérdida de suelo fueron muy coincidentes para los mismos lotes y tratamientos.

Hidrogramas y sedigramas

Durante el desarrollo del experimento, algunos eventos de lluvia y escurrimiento fueron muestreados a fin de observar el comportamiento del escurrimiento y la pérdida de suelo. A continuación se presenta en modo gráfico la lluvia, el escurrimiento superficial medido, y la producción de sedimentos distribuidos en el tiempo que transcurrió el evento de lluvia ocurrido el 14 de agosto de 1995. Las características de la evolución de lluvia, el escurrimiento superficial y la producción de sedimentos se presentan en los Cuadros 8 y 9 respectivamente. Asimismo, en la Figura 23 se muestra la distribución gráfica de la evolución del escurrimiento y la producción de los sedimentos. Es importante hacer notar que esta información se registró para el lote 20 del tratamiento T6, no roturado, sin remoción, sin malla y sin cultivo.

Cuadro 8. Características de la lluvia ocurrida el 14 de agosto de 1995 para el lote 20 del tratamiento T6, no roturado, sin remoción, sin malla y sin cultivo.

Fecha	Inicio	Final	D_{ll}	L_{ll}	I_{30}	EC_t	EI_{30}
	(h.min)	(h.min)	(min)	(mm)	(mm/h)	(MJ/ha)	(MJ.mm/ha.h)
140895	13.29	19.26	388	23.97	32.18	5.51	177.35

D_{ll} = Duración del evento de lluvia; L_{ll} = Lámina llovida; I30 = Intensidad de la lluvia en 30 minutos; Ec_t = Energía cinética total; EI_{30} = Indice de erosionabilidad de Wishmeier

Cuadro 9. Características del escurrimiento superficial ocurrido el 14 de agosto de 1995 para el lote 20 del tratamiento T6, no roturado, sin remoción, sin malla y sin cultivo.

Inicio	Final	D_e	T_p	$Q_{máx}$	Ve	Le	CE	A
(h.min)	(h.min)	(min)	(min)	(L/s)	(L)	(mm)		(kg/ha)
14.12	18.44	272	166	0.431	609.74	13.86	0.58	1,185.91

T_p = Tiempo al pico; D_e =Duración del escurrimiento; Ve = Volumen escurrido; Le = Lámina escurrida; CE =Coeficiente de escurrimiento y A= Pérdida de suelo

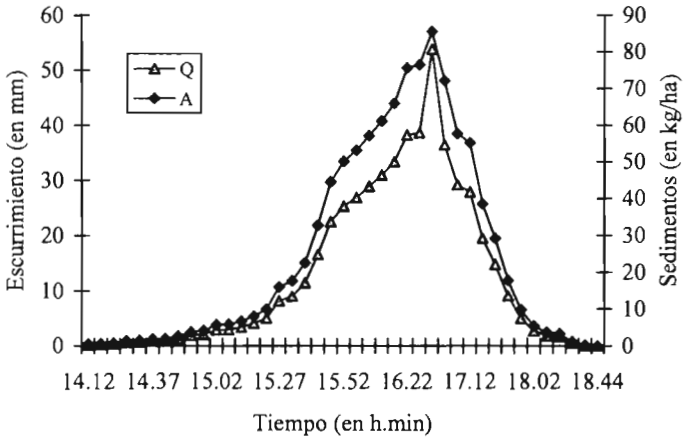


Figura 23. Comportamiento gráfico del hidrograma (Q) y del sedigrama (A) durante el evento de lluvia registrado el 14 de agosto de 1995.

La Figura 23 muestra que para el lote 20 del tratamiento T6, no roturado, sin remoción, sin malla y sin cultivo, la producción de sedimentos (sedigrama) resultó ser superior al escurrimiento superficial (hidrograma) durante la evolución del evento. Lo anterior ya ha sido reportado por Fenton (1980) y Larson et al. (1985) y otros autores. Sin embargo, otros registros similares realizados en lotes distintos, mostraron fuertes diferencias entre la producción de sedimentos y el escurrimiento para lluvias de menor magnitud.

Conclusiones

Los resultados de esta investigación serán de utilidad práctica para la roturación de los tepetates, además de proveer un punto de partida para estudios futuros sobre control de erosión hídrica y rehabilitación de tepetates.

Considerando un registro de lluvias de únicamente 7 meses, el número total de eventos de lluvia para los años 1994, 1995 y 1996 fueron de 76, 84 y 75, con una precipitación total de 623, 511y 518 mm respectivamente. Los intervalos medios de clase de la cantidad de lluvia variaron de 2.5 hasta 47.2 mm, con intensidades medias entre los rangos observados de 3.75 y 73.8 mm/h.

Otras características físicas de la lluvia registradas en el período indicado fueron la distribución mensual de la cantidad total de lluvia y su relación con dos de sus parámetros de agresividad: la energía cinética total (EC_t) y el producto de ésta con la intensidad en 30 minutos (EI_{30}). Los parámetros de agresividad anteriores fueron seleccionados debido a que son los que mayormente influyen sobre la destrucción y desgaste de los agregados del suelo, los que inducen a la compactación y formación de costras y los de mayor sensibilidad a la erosión.

Todos los tratamientos y sus repeticiones presentaron altas tasas de escurrimiento superficial. Lo anterior se debe a que los tepetates presentan bajo porcentaje de porosidad y generalmente, la mayor parte de los poros se encuentran sellados por elementos finos del suelo.
La pérdida de suelo por tratamiento y por lote, para los dos años de evaluación resultó ser muy consistente, lo que nos permite aseverar que hubo consistencia experimental en los tratamientos y en su manejo. No obstante, la diferencia en pérdida de suelo entre 1994, 1995 y 1996 fue muy significativa, ya que las pérdidas de suelo de 1995 se multiplicaron por 2 con respecto a las de 1994, y las del 1996 se multiplicaron por 2 respecto a las de 1995. Las diferencias en cantidad de suelo perdido se debe al incremento de la energía cinética total de la lluvia en 1995 y 1996, no obstante la diferencia en el número de eventos y la cantidad de la lluvia, de 623, 511 y 518 mm respectivamente.

Probablemente la pérdida más severa en la productividad a largo plazo, a partir de la erosión de los tepetates es la pérdida en la capacidad de retención de agua disponible para la planta. Debido al sellamiento y/o taponamiento de los poros del suelo por partículas finas, se incrementa el escurrimiento y la pérdida en la capacidad de retención de agua disponible son más severas en los tepetates naturales que en los roturados.
Puesto que la lluvia y el escurrimiento varían a lo largo de los lotes, resulta difícil estimar una pérdida de rendimiento general para esta serie experimental. Los valores en el rendimiento de la cebada son estimaciones precisas y, por lo tanto, aportan considerables resultados.
Durante los dos años de evaluación de nuestro experimento, los tepetates presentaron una enorme pérdida de nutrimentos arrastrados por el escurrimiento superficial, lo que hace pensar que el origen del nitrógeno provenga de la lluvia, ya que en el experimento no se utilizó ningún tipo de fertilización mineral, únicamente, los lotes 13 y 15 del tratamiento T5 fueron abonados con 20 t/ha de estiércol vacuno, lo que equivale a 88 kg de estiércol por lote. Sin embargo, las mayores pérdidas de nitrógeno y fósforo ocurrieron en los lotes 1, 8 y 10 representados por el tratamiento T3 y los lotes 4, 6 y 12 representados por el tratamiento T4 respectivamente.

La producción y concentración de sedimentos en los tepetates resultó ser muy variable, pero fuertemente correlacionada con la cantidad de escurrimiento y la energía cinética total de la lluvia. La acción de la lluvia sobre el suelo a su vez depende de su cantidad y de su intensidad, lo que hace evidente que una lluvia de alta intensidad de sólo 10 mm provoque más daños que una lluvia de baja intensidad de 30 mm.
Dado que los tepetates presentan una estructura masiva, dúrica y consolidada, la roturación, remoción de agregados y razamiento con maquinaria pesada es el único medio para poner a esta clase de suelos en productividad. Luego de la roturación y razamiento, los tepetates responden fuertemente a los fertilizantes minerales de nitrógeno y fósforo y posteriormente a la adición de materia orgánica, tales como compostas y estiércoles. 20 toneladas de estiércol vacuno seco por hectárea es suficiente para alcanzar una producción de maíz y cebada por arriba de la media nacional, aún durante el primer año de roturación. Con el objeto de estabilizar y controlar la erosión hídrica en los tepetates de uso agrícola, las superficies razadas y/o niveladas deberán tener una pendiente máxima permisible del 3 % y una longitud no mayor de 150 metros.

Bibliografia

Arnold J. G., J. R. Williams and A. D. Nicks. 1990. SWRRB a bassin scale simulation model for soil and water resources management. Texas A&M University Press. College Station.

Arnold, J. G., J. R. Williams, R. H. Griggs, and N. B. SAMMONS. 1991. SWRRBWQ a bassin scale model for assessing managment Impacts on water quality. Texas A&M University Press. College Station.

Fenton, T. E. 1980. Soil erosion in the Corn belt problems and solutions. Proc. of Quaternary Geology and Geomorfological Symp.: Soil Erosion. Geol. Soc. Am., Atlanta, GA. 17-20. Nov. 1980.

Langdale, G. W., and W. D. Shrader. 1982. Soil erosion effects on soil productivity of cultivate cropland. p. 41-51. In Determinants of soil loss tolerance. Spec. Pub. 45. American Society of Agronomy, Madison, WI.

Larson, W. E., T. E. Fenton., E. L. Skidmore., and C. M. Benbrook. 1985. Effects of soil erosion on soil properties as related to crop productivity and classification. Soil Erosion and Crop Productivity. ASA-CSSA-SSSA,677. South Segoe Road, Madison,WI 53711,USA.

Oropeza-Mota, J. L. 1990. Modelización del escurrimiento, materiales en suspensión y concentración de nitratos en cuencas agrícolas. XXIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Comarca Lagunera. Nov. 4-9/90.

Oropeza-Mota, J. L. 1990. Simulation des écoulements des cours d'eau dans le petits bassins versants ruraux. Thèse de doctorat. Gembloux, Belgique. Faculté des Sciences Agronomiques.

Oropeza-Mota, J. L. 1992. Evaluación de la relación erosión-escurrimiento en pequeñas cuencas agrícolas a partir del modelo de simulación MOPEAU. XXV. Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Acapulco, Gro. Nov. 9-14/92.

Oropeza Mota, J. L., Norton D. and B. Figueroa-Sandoval. 1994. Comparison of runoff and erosion from natural and reclaimed tepetate from the semiarid area east of Mexico City. Water Research and Management in Semiarid Environments Symposium. USDA-ARS-SWRC. Tucson, Az.

Oropeza Mota, J. L. E. Huerta Martinez and J. D. Rios Berber. 1995. Water erosion evaluation of tepetates in relation to reclamation and productivity. Special Issue: Water Management in Semiarid Environments. Journal of Soil and Water Conservation. Volume 50, Number 5. pp 523-526.

Oropeza-Mota, J. L., M. Hernandez, P. Heilman, L. J. Lane and H.M. Arias-Rojo. 1995. Evaluating land management system effects on tepetate lands in Central Mexico with a decision support system. Preconference Proceedings. First International Conference on Multiple Objective Decision Support Systems for Land, Water and Environmental Management: Concepts, Approaches, and applications. University of Hawaii. Honolulu, Hawaii, USA. July 23-28. World Association of Soil and Water Conservation. WASWC.

Oropeza-Mota, J. L. 1995. Modelación del escurrimiento superficial en terrenos agrícolas con pendiente. Palabras clave: Modelo de simulación MOPEAU, Lluvia diaria, Escurrimiento superficial, Humedad del suelo, Terreno agrícola con pendiente. Revista Terra. Organo Científico de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. ISSN 0187-5779. División II, Volumen 13, Octubre-Diciembre de 1995. Número 4. pp. 454 - 463. Montecillo, Méx.

Swanson, E: R., and D. E. Maccallum. 1969. Income effects of rainfall on erosion control. J. Soil and Water Conservation. 24:56-59.

USDA-SCS. 1972. National Engeneering Hanbook, Hydrology Section 4. USDA-SCS.

Winding, L.P., R.B. Jones, and G. M. Shafer. 1965. Variations of soil morphological properties within Miami, Celina, and Crosby mapping units in west-central Ohio. Soil ci. Soc. Am. Proc. 29:711-717.

Williams, J.R., C. A. Jones, and P. T. Dyke. 1984. A modeling approach to determining the relationship between erosion and soil productivity. Trans ASE 27:129-144.

Agradecimientos

Este trabajo fue posible gracias al apoyo económico de la Unión Europea a través del Proyecto de Investigación: "Regeneración y Conservación de Suelos Volcánicos Endurecidos de América Latina: (Chile, Ecuador, México)", bajo el contrato: CE - STD3/ORSTOM - Universidad J. Liebig Giessen. N° TS3*CT-930252. Durante el desarrollo de la investigación se tuvo la colaboración y participación en el registro de la información de campo de la Ing. Elsa Huerta Martínez, Ing. Elibeth Torres Benitez y del Ing. Agustín Navarro Bravo, y de los Técnicos de Campo: Sr. Elias Carrillo Carrillo, Sr. Juan Hinojosa Martínez, Sr. Anacleto Sánchez Hidalgo y ei trabajo secretarial y administrativo de la Sra. Salustia Chávez Espinoza. Todos los trabajadores mencionados pertenecen al Area de Física de Suelos del Programa de Edafología del Instituto de Recursos Naturales del Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas de Montecillo, Estado de México. A todos ellos, mi más grande agradecimiento.

EROSION DE UNA TOBA VOLCANICA ENDURECIDA EN PROCESO DE REHABILITACION

Christian Prat, Aurelio Baéz, Eduardo Ascencio y Alfonso Marquez

EROSION DE UNA TOBA VOLCANICA ENDURECIDA EN PROCESO DE REHABILITACIÓN

Christian Prat, Aurelio Báez, Eduardo Ascencio y Alfonso Márquez

Introducción

En el altiplano mexicano el clima es relativamente agresivo y muy fluctuante, las pendientes fuertes y los suelos frágiles. Las sociedades locales como el medio natural son factores que al conjugarse favorecen la erosión de los suelos.
Una vez que los horizontes superficiales son erosionados quedan expuestas sobre la superficie las capas de tobas volcánicas endurecidas y estériles. Estas son horizontes con dimensiones que varían desde decimetros hasta varios metros de espesor.
De acuerdo a Zebrowski (1992), los tepetates podrían cubrir enormes superficies en el eje neovolcánico. Los trabajos recientes de (Servenay, 1997) estiman que una cuarta parte de las laderas de las sierras del altiplano mexicano presentan afloramiento de estos materiales endurecidos, compactos y estériles. Estos no pueden ser cultivados sin un tratamiento previo.
Todos estos factores muestran claramente que los tepetates expuestos en extensas superficies en México, incluso enMesoamerica, gran región en dondeconstituyen un problema de mayor importancia, tanto para la agricultura como para los recursos naturales de los cuales dependen sus sociedades.

Los trabajos de recuperación manual de los tepetates existen desde la época prehispánica, sin embargo la mecanizada se inició hace poco más de 30 años, en particular en los estados de México y de Tlaxcala,. Desgraciadamente, por falta de conocimientos científicos de soporte a los tecnologicos, sin duda además de los sociales, la mayoria de las obras no fueron muy exitosas.

Los resultados de programas recientes muestran que la roturación de los tepetates es técnica y económicamente factible, y que esta al alcance de los pequeños campesinos (Báez *et al.*, 1997; Márquez *et al.*, 1992; Muñoz y Navarro, 1997; Prat *et al.*, 1997). Sin embargo, estas medidas implican un control de la erosión y una buena gestión de la producción para poder recuperar lo antes posible, la fuerte inversión que representa la roturación y el terraceo de estos materiales (Zebrowski y Sánchez, 1997). En consecuencia, es indispensable caracterizar los procesos erosivos, como condición para poder proponer soluciones

Metodología

En el protocolo se evaluaron diferentes sistemas de cultivos y de tratamientos del suelo (Cuadro 1) en 8 terrazas (700 hasta 1800 m^2). Los preparativos se realizaron durante 1992, la evaluación de los parámetros agronómicos y el comportamiento del agua, del suelo y de las plantas fueron estudiados en detalles de 1993 hasta 1996 (Báez *et al.*, 1998).

Cuadro 1. Características de las terrazas después de la roturación y terraceo del tepetate, S.M. Tlaixpan, edo. de México.

Tratamiento	Ref.	Área m^2	Sustrato	Prof.* M	Pendiente %	Cultivos 1993	1994	1995	1996
Referencia Tepetate desnudo y no roturado	T0	1 800	Tepetate aflorando	**	2 a 10	-	-	-	-
Efecto profundidad roturación	T2	470	Tepetate roturado	0.60	4.7	C + V	M+F+H	M + H	C + Md
Referencia monocultivo	T3	775	"	0.46	3.2	C	M	M	C
Efecto estiércol	T4	730	"	0.43	3.4	C + V	M+F+H	M + H	C + Md
Efecto de la preparación de la tierra y nivelación (fina)	T5	790	"	0.44	2.5	C + V	M+F+H	M + H	M+ ***
Referencia (hasta inicio de 1995)	T6	1150	"	0.40	4.4	C + V	M+F+H	-	-
A partir del inicio de 1995	T6a	735	"	0.40	4.4	-	-	M + H	M + H
Referencia suelo	T7	715	Faozem vértico	0.53	5.9	C + V	M+F+H	M + H	C + Md

[1] Este programa reagrupaba el ORSTOM (Francia) y el Colegio de Postgraduados en ciencias agricolasde Montecillo (México) en la parte oriental del Valle de México y la Universidad de Giessen (Alemania) y la Universidad Autónoma de Tlaxcala (México) en el Estado de Tlaxcala.

Tepetate Profundidad de la roturación, ** No roturado *** Contreo, C: Cebada, V: Veza, M: Maíz, F: Frijol, H:Haba, Md: Medicago polymorfa

Medición de los escurrimientos y sedimentos arrastrados

Cada terraza tuvo una pendiente general dirigida hacia un vertedor tipo H, el cual desembocaba en una pileta de partición de agua de un volumen de casi un metro cúbico. Esta pileta tenia a su vez una salida hacia una segunda pileta, donde se recolectaba una parte (1/20 o 1/10 según los modelos) del volumen total de agua. Finalmente, esta segunda pileta se vertía a su vez en un tambo de metal, también en una proporción de 1/20 o 1/10 del volumen de agua que excedía su capacidad.
Las piletas fueron de concreto, pintadas en 1994 para evitar la contaminación del agua por el cemento. Al nivel del vertedor, teniamos un limnígrafo tipo Stevens horizontal de registro diario, escala 1/1, con relojería de cuarzo.
Después de cada lluvia se midió la altura de agua en las piletas y se recuperaban todos los sedimentos en bolsas de plásticos. Despues dichos sedimentos eran secados en una estufa a 105 °C, por periodos de uno a tres días para tener un peso seco comparable entre las muestras. Los limnígrafos realizados manualmente sobre una mesa de digitalización conectada a una computadora, a través del programa "Hydrom" desarrollado por ORSTOM, con el cual tambien se procesaron todos los escurrimientos, independientemente de su duración o altura.

Para completar los datos y mejorar su interpretación, se efectuaron una serie de estimaciones y su análisis a lo largo de estos años. Así, se tomaron sistemáticamente muestras de agua que fueron analizadas en el laboratorio de fertilidad de suelos del Colegio de Postgraduados, se evaluaron los parámetros siguientes: pH, conductividad eléctrica, N, P, cationes intercambiables, materia orgánica y la determinación de la cantidad de sedimentos en suspensión.
También, a partir de 1994 se efectuó, el seguimiento de la evolución de la superficie de los suelos y de la cobertura vegetal después de cada aguacero violento, o sea una a dos veces por semana en promedio, durante la época de lluvia (Lauffer et al. 1997).
Los datos fueron complementados con observaciones y muestreos efectuados en una docena de aguaceros a lo largo de los cuatro años de estudio.
En la medida de lo posible, se realizaban levantamientos semi-cuantitativo del estado de los surcos, a lo largo y ancho de cada terraza. Igualmente, se instaló un sistema sencillo para captar el agua y los sedimentos arrastrados del bordo de separación entre las terrazas T2 y T3 para estimar como se comportaba un bordo nuevamente construido. Finalmente, se efectuaron mediciones de humedad de suelo a lo largo y ancho de cada terraza con un aspersor de neutrones en tubos fijos, y se realizaron muestreos para mediciones directas.

Características de las precipitaciones

Normalmente, 90% de los eventos pluviométricos caen a lo largo de la temporada de lluvia entre mayo-octubre (ver Cuadro 2). Sin embargo, en 1995 y en 1996, la cuarta parte de las precipitaciones anuales ocurrió durante la temporada seca (noviembre-abril). Por eso es importante monitoriar todo el año, con los equipos de registros de lluvias. En nuestra área de estudio el 90% de los aguaceros tiene una intensidad inferior a los 5 mm/h. Su duración es inferior a los 30 minutos para la mitad de ella, y en esta mitad, un 30% no supera los 15 minutos. La intensidad máxima ocurre durante los primeros quince minutos.

Cuadro 2. Características principales de las lluvias en San Miguel Tlaixpan, 1992-1996.

	1992	1993	1994	1995	1996	92-96
Número de días de lluvia	126	81	105	120	90	105
Altura total (mm)	654	411	736	768	583	627
Número de aguaceros registrados con el pluviógrafo y procesados	193	132	148	154	109	147
Altura de aguaceros registrados con el pluviógrafo y procesados	654	396	594	529	418	518
% de días de lluvias registradas vs totales	99	96	81	69	72	83
R métrico	259	96	216	197	204	194
R usa	149	55	124	113	118	112
"Tipo" tentativo de clasificación del año pluviométrico	Normal y erosiva	Muy seco	Normal	Irregular	Seco irregular	Año e promedio

Solamente 10% de las precipitaciones generan una fuerte erosión. En otros términos: 16 aguaceros de una altura superior a 10 mm, representan 50% del volumen total de las precipitaciones y 80% del factor de erosividad anual de Wischmeier (Rus anual varia de 55 a 150 de acuerdo a los años). En promedio anual, tres aguaceros tienen una energía superior a 500 MJ/ha y una intensidad del orden de 50 a 150 mm/h durante 5 a 10 minutos (Prat, 1997).
El clima limita el desarrollo de los cultivos lo que trae como consecuencia tener una cobertura vegetal reducida en el suelo, que conlleva a aumentar los riesgos para ser mayores de moderadamente erosivos. Sin embargo, como las variaciones interanuales del factor R son muy fuertes (R puede variar del simple al triple), el control de la erosión puede ser a veces difícil. Además, de la irregularidad de los aguaceros.

Escurrimiento y transporte de materiales sólidos

En el Cuadro 3 muestra una relación entre el coeficiente de escurrimiento (Kr) y la cantidad de sedimentos transportados (Erosión). Aunque.no haya una correlación estrecha entre estos dos parámetros, ya que la tasa de escurrimiento no expresa la energía cinética global. Kr, la erosión varía según los tratamientos comprobados y el grado de erosividad de los aguaceros durante cada año.
Aparece así claramente que el tepetate natural no trabajado (T0) presenta los más altos valores de Kr y erosión, despues se clasifican las terrazas T2 y T3, con valores al 50% de los obtenidos para T0, y finalmente las terrazas T4 a T7 con los valores más bajos para estos coeficientes.

Cuadro 3. Cantidades de sedimentos transportados (erosión. en t/ha en peso seco) y coeficiente de escurrimiento (Kr en %) para los aguaceros que escurrieron (1993-1996).

Año	T0		T2		T3		T4		T5		T6		T7	
	Eros.	Kr	Eros.	Kr	Eros.	Kr	Eros.	Kr	Eros.	Kr	Eros.	Kr	Eros.	Kr
1993	8.8	27.2	5.8	13.2	1.0	7.9	1.3	4.7	0.8	3.0	0.6	4.0	0.6	4.9
1994	28.9	50.7	15.5	31.2	12.0	38.6	3.7	17.3	1.4	10.3	1.6	13.3	0.1	0.8
1995	20.5	37.9	7.9	29.4	4.5	29.3	1.5	21.3	1.0	11.2	0.3	5.1	0.0	0.2
1996	18.2	53.3	11.0	49.7	13.7	53.4	1.6	30.3	0.1	4.0	0.8	18.5	5.0	29.8
Promedio	19.1		10.1		7.8		2.0		0.8		0.9		1.4	

Sedimentos en suspensión

La tasa de sedimentos en suspensión (en porcentaje del peso total de materias sólidas erosionadas) se comportó en correlación con la naturaleza del suelo y el tipo de cultivo (Cuadro 4).
Basándose en estos resultados, se puede comparar:el tepetate natural roturado o no, y el suelo. El tepetate natural (T0) presenta un porcentaje bajo de producción de sedimentos en suspensión, en general un poco más de 30%, en promedio año. Lo anterior nos indica la predominancia de una erosión lineal bajo el efecto de un escurrimiento fuerte. A lo largo de estos 4 años, las observaciones muestran claramente, el ahondamiento de los arroyuelos que constituyen la red de escurrimiento de esta micro-cuenca.

Cuadro 4. Porcentaje de sedimentos en suspensión en relación con el peso total de sedimentos por terrazas (1993-1996).

Año	Terrazas							Cultivo principal
	T0	T2	T3	T4	T5	T6	T7	
1993	38	52	57	53	44	46	48	Cebada
1994	36	59	66	76	50	77	0	Maíz
1995	12	56	59	66	59	53	0	Maíz
1996	40	67	68	80	81*	80*	67	Cebada / Maíz*
Promedio	34	60	67	68	53	64	28	
Prom. 93+96	39	60	64	67	-	-	57	Cebada
Prom. 94+95	24	58	62	71	55	65	0	Maíz

En las terrazas de tepetate y de suelo cultivados, es al contrario el efecto directo de la energía cinetica de los aguaceros que predominan, y que genera la erosión selectiva de las partículas finas.
Durante los años más erosivos (1994 y 1996), la tasa de escurrimiento aumentó, conduciendo a un alto porcentaje de partículas finas (70%), mientras que en 1993, (año poco erosivo) esta tasa se mantuvo a 50% en promedio. Eso demuestra que el escurrimiento depende de la intensidad y de la energía de los aguaceros.

En 1993, 1994 y 1995, no hubo diferencias significativas entre los tratamientos del tepetate trabajado, debido a que el proceso erosivo inicial fue.el mismo para todos. Lo único que varió fue el volumen escurrido y transportado, de acuerdo a la capacidad de cada terraza para infiltrar y retener el escurrimiento y los sedimentos.

El tepetate natural (T0)

El 75% de los aguaceros escurren sobre el tepetate natural (T0) con un 30>Kr>50%. La carga sólida esta constituída principalmente por arena y limo. Según los años, los valores varían de 10 a 30 t/ha/año, con un promedio de 20 t/ha/año de sedimentos arrastrados.
Estos valores, aunque sean fuertes no son excepcionales en relación a otras situaciones, tanto en México como en otros países.
El tepetate natural, compactado y poco poroso, limita drásticamente la infiltración del agua, ocasionando que el agua se escurra y se concentre, generando una erosión en ranuras y en arroyuelos en la parte alta de las lomas -zona donde se realizaron las mediciones-.
Su compacidad reduce también la destrucción y el arrastre de los materiales. Es notorio corroborar que aguas abajo predomina la erosión regresiva, la cual se estima en varios centenares de toneladas de suelo/ha/año).
Es esta última forma de erosión la que suponemos que explica la formación del paisaje actual de lomas con profundas cárcavas, entre éstas ultimas unas con varias decenas de metros de profundidad y de ancho.

El tepetate cultivado (terrazas T2 a T6)

A pesar de la aparente homogeneidad del sitio de experimentación fue posible observar diferencias estacionales entre T2 y las demás terrazas. Un análisis más fino de los estudios de la permeabilidad, porosidad, densidad, laminas delgadas, etc. Mostraron que el tepetate cultivado en T2 es más denso y compacto, y sobre todo presentó unos agregados mucho más frágiles que en los demás ensayos (Rugama, 1997). Considerando que la densidad de las plantas fue de 20 a 30% inferior a las existentes en las otras terrazas con cultivos asociados y la protección del suelo es menor al inicio del ciclo: en consecuencia son estos factores que explican las tasas tan elevadas de escurrimiento y de sedimentos arrastrados, en la terraza T2.

Los valores fuertes de erosion y de Kr para T3 son comparables a los de T2, se puede atribuir este comportamiento al monocultivo. Las mediciones y los seguimientos de los estados de superficie muestran claramente que la cobertura vegetal es más reducida en el caso de la T3.
Los agregados al estar menos protegidos se destruyen más rápidamente que en las demás terrazas, es por eso quizá que la erosión es alta.
Se observó que se forman más rápido las "costras", lo que favorece el escurrimiento (Kr alto). Además, el maíz al interceptar las gotas de lluvia y al concentrar el agua sobre su caña, provoca la ruptura de los surcos al nivel de la base del cultivo. Este fenómeno, conocido como el "stem flow" (literalmente: flujo sobre la caña) es notablemente reducido en el caso de la asociación maíz/haba ya que el haba intercepta y dispersa las gotas de agua.
El seguimiento del estado de los surcos muestra una clara diferencia entre monocultivo y cultivos asociados. El haba al disminuir el "stem flow" del maíz disminuye las rupturas de los surcos y reduce por lo tanto la erosión (Lauffer *et al.*, 1997).

La terraza de T4 fue diferente a las demás terrazas debido a la aplicación regular de estiércol de bovino, en combinación se aplicaba una reducida cantidad de fertilizantes minerales.
Esta terraza presentó valores de erosión y Kr comprendidos entre los observados para T2-T3 y las de T5-T6, sin embargo, los seguimientos de los estados de superficie y pruebas de estabilidad estructural muestran que los agregados son más estables y que los macroagregados (> 2 mm) son más numerosos que en los demás ensayos.
Estos datos coinciden con los efectos estructurantes y protectores bien conocidos de la materia orgánica, lo que va en contra de los valores de erosión y Kr que son más altos que los esperados.

En realidad, se puede explicar esta situación por problemas de manejo y de dosificación de la fertilización en algunas de ellas.
En efecto, debido al atraso en las fechas de aplicación, además porque las dosis de fertilización fueron demasiado bajas en relación con las necesidades de las plantas, en consecuencia los cultivos se desarrollaron de manera irregular: se observaron "manchas" con poca plantas distribuidas a lo largo y ancho de esta terraza. Su efecto fue que provocaron una insuficiente protección del suelo, suponemos que ello explica que el escurrimiento y el transporte de partículas finas fuera superior al estimado en las otras terrazas.
A pesar que en los demás protocolos la cobertura vegetal era más efectiva. T5 y T6 presentan pocas diferencias, mostrando así que la preparación inicial del suelo (fina/gruesa y plana/pendiente débil) tuvo finalmente un impacto débil.

Los valores bajos de erosión y Kr se pueden explicar por la buena protección del suelo gracias a las asociaciones de cultivos que se desarrollaron bastante bien a lo largo de su ciclo de cultivo.
Los rendimientos obtenidos en estas dos terrazas fueron los mejores y los más regulares.
Es importante señalar que durante el último año el ensayo con contreo fue muy efectivo (2 veces menos de erosión) en relación con el surco "normal". Sin embargo, seria recomendable validar este resultado. tratando de tener un año durante la cual los aguaceros sean más agresivos.

El suelo de referencia (T7)

Este tratamiento corresponde al suelo no tepetatoso (Faeozem vértico) que cubre los tepetates. Esta terraza presenta valores bajos y variables de erosión y Kr. Aunque las "costras" se formaban rápidamente, la cohesión de estos suelos limita la degradación y la ruptura de los surcos. El papel protector del cultivo asociado tuvo un papel importante en la reducción de los procesos erosivos.
Sin embargo, observaciones cualitativas de algunas parcelas cercanas muestran que con terrazas largas, aunque sean estrechas, el agua al acumularse y concentrarse logra provocar en las partes bajas de las parcelas la erosión en ranuras, las cuales indudablemente evoluciona muy rápidamente en arroyuelos. Este proceso genera la afloración del tepetate subyacente.

Conclusiones

Las características pluviométricas durante cinco años nos muestran su efecto como moderadamente erosivo. Sin embargo, las variaciones interanuales y anuales (en particular al inicio de la temporada húmeda) pueden ser muy fuertes, lo que dificulta el control de la erosión.
Con aguaceros de unos milímetros de altura o con una intensidad muy débil de unos milímetros por hora, un tepetate desnudo y aflorado genera grandes volúmenes de agua y sedimentos.
En estas condiciones, las superficies erosionadas de tepetates seguirán incrementándose y el medio natural degradándose.
Por eso, es primordial prever antes de iniciar un cultivo en tepetate roturado, utilizar sistemas para reducir al mínimo la erosión.
Después de una roturación cruzada de 40 cm de profundidad efectiva del tepetate con un bulldozer y un terraceo adecuado, es posible crear nuevos suelos. Pero se debe asegurar una buena fertilización de los cultivos, no solamente para obtener buenos rendimientos, sino también para obtener rápidamente una buena cobertura vegetal que protegerá los agregados frágiles del impacto de las gotas de agua.
Habrá que tomar precauciones con los cultivos sembrados al "voleo", ya que su Kr y las perdidas de tierra son mayores que en los cultivos con surcos (maíz, haba, etc.).
Por eso, es importante asegurar una buena fertilización y asociar con una leguminosa, tal como la alfalfa local (*Medicago P.*) que es muy bien adaptada a las condiciones de la región. De preferencia deben sembrarse asociaciones frente a los monocultivos.
Recomendamos en especial, la asociación del maíz con el haba cuyo follaje permite balancear los efectos de "stem flow" del maíz que provocan la destrucción de los surcos.

También, se debe de fomentar cuando las parcelas están húmedas y no saturados, practicas de cobertura de residuos para conservar una buena agregación del suelo y postergar la formación de las costras en la superficie.

Aunque habra que corroborar con otros ensayos, aparenta que el surcado en contreo reduce de manera importante el escurrimiento y el transporte de materias sólidas.
El papel de la fertilización orgánica y la incorporación de los residuos de cultivo no aparecieron con efecto en el control de la erosión. Aunue los agregados sean más numerosos y más estables que en los demás ensayos, las dosis fueron muy bajas y la aplicación de la fertilización fue tardía, lo cual limito para tener una buena cobertura del suelo. Estas partes de suelo no protegido favorecieron la erosión. Si la recomendación de una fertilización orgánica no es rentable desde el punto de vista económico y tampoco se puede generalizar por no existir las cantidades de estiércol necesarias en el Valle de México, no obstante es la proposición de incorporar los residuos de los cultivos, por lo menos durante los primeros años después de la roturación del tepetate.

Los resultados de 4 años de seguimiento de la erosión en parcelas de campesinos mostraron que el tepetate aflorado y no trabajado genera un escurrimiento y una erosión importante que son necesarios de controlar para evitar una extensión de estos afloramientos. La roturación, la conformación de terrazas y el cultivo de los tepetates permiten llegar a la creación de suelos productivos. Sin embargo, es indispensable seguir una serie de recomendaciones para asegurar una buena producción agrícola y un control eficaz de la erosión de estos suelos. Bajo estas condiciones se podrá garantizar la rentabilidad económica de las inversiones y la sostenibilidad de estos trabajos, manejos de suelos y de cultivos.

Bibliografía

Báez A., E., Ascencio, C., Prat y A., Márquez A. 1998. Condiciones for agricultural uses of an indurated volcanic tuf (tepetate). *In:* Transacción of the 16th World congress of soil science, Montpellier, France.

Báez A., E., Ascencio , C., Prat y A., Márquez A. 1997. Análisis del comportamiento de cultivos en tepetate T3 incorporado a la agricultura de temporal, Texcoco (Mexico). *In:* Zebrowski y al. (Eds), Actas del 3e simposio internacional sobre los suelos volcánicos endurecidos. 6-12 dec. 1996. ORSTOM, Quito, Ecuador. p. 296-310.

Lauffer M., Y., Leroux, C., Prat C. y J.L. Janeau . 1997. Organización superficial de los tepetates cultivados, Texcoco (Mexico). *In:* Zebrowski y al. (Eds), Actas del 3e simposio internacional sobre los suelos volcánicos endurecidos. 6-12 dec. 1996. ORSTOM, Quito, Ecuador. p. 443-456.

Marquez A., C., Zebrowski. y H., Navarro. 1992. Alternativas agronómicas para la recuperación de tepetates. Terra, Vol 10, N° especial. ORSTOM-CP, Mexico. p. 465-473.

Muñoz S.y H., Navarro, 1997. Uso de recusos, rentabilidad y sustentabilidad en los sistemas económicos familiares (SEF). *In:* Zebrowski y al. (Eds), Actas del 3e simposio internacional sobre los suelos volcánicos endurecidos. 6-12 dec. 1996. ORSTOM, Quito, Ecuador. p. 492-500.

Navarro H. y C., Prat . 1996. Habilitación agrícola de los tepetates de los valles de Mexico y Tlaxcala. *In:* P. Bovin (Ed.), El campo mexicano: una modernización a marchas forzadas. CEMCA-ORSTOM. Mexico. p. 253-291.

Navarro H. y C. Zebrowski 1994. La rehabilitación agricole des sols volcaniques indures y erodes en Equateur y au Mexique. In: Simposium of the 15th World congress of soil science, Acapulco, Mexico. Vol 6a, p. 592-610.

Prat C. 1997. Análisis de las características de las precipitaciones de 1992 a 1995 en San Miguel Tlaixpan (Texcoco, Mexico). *In:* Zebrowski y al. (Eds), Actas del 3e simposio internacional sobre los suelos volcánicos endurecidos. 6-12 dec. 1996. ORSTOM, Quito, Ecuador. p. 359-370.

Prat C., A., Báez . y A., Márquez. 1997. Erosión y escurrimiento en parcelas de tepetate T3 en Texcoco, Mexico. In: Zebrowski y al. (Eds), Actas del 3e simposio internacional sobre los suelos volcánicos endurecidos. 6-12 dec. 1996. ORSTOM, Quito, Ecuador. p. 371-383.

Prat C., T., Ly B, I., Lepigeon., G.,Faugere y J.L. Alexandre. 1997. Los sistemas agropecuarios de producción en tepetates, en cuatro comunidades del altiplano mexicano. *In:* Zebrowski y al. (Eds), Actas del 3e simposio internacional sobre los suelos volcánicos endurecidos. 6-12 dec. 1996. ORSTOM, Quito, Ecuador. p. 482-491.

Quantin P. 1992. Etude des sols volcaniques indures de Mexico y de Tlaxcala en vue de leur rehabilitación agricole. Raport scientifique final, contrat CEE/ORSTOM: NTS2-A-212-C.

Quantin P. 1997. Regeneración y conservación des sols volcaniques indures y steriles d' Amerique Latine (Chili, Equateur, Mexique). Raport scientifique final, contrat UE/ORSTOM-U.J.L. Giessen: ERB TS3*CT93 0252. 178 p.

Rugama U., J. A. 1997. Evolución estructural del tepetate T3, producto de la roturación y manejo agricola. Tesis de Maestría, Instituto de Recursos Naturales. Montecillo, Mexico, Colegio de Postgraduados. 105 p.

Servenay A. 1997. Les paysages des tepetates du Mexique central volcanique: identificatión et caracterisación spatiale par teledetección y SIG: unes zones agricoles a rehabiliter. Memoire DEA, Univ. Toulouse-el Mirail, ORSTOM, 90 p.

Zebrowski C. 1992. Los suelos volcanicos endurecidos de America Latina. Terra, Vol 10, numero especial. ORSTOM-CP, México. p. 15-23.

Zebrowski C. y B., Sánchez . 1997. Los costos de rehabilitación de los suelos volcánicos endurecidos. *In:* Zebrowski y al. (Eds), Actas del 3e simposio internacional sobre los suelos volcánicos endurecidos. 6-12 dec. 1996. ORSTOM, Quito, Ecuador. p. 462-471.

Todos nuestros más sinceros agradecimientos a los responsables y personal de los Laboratorios de Fertilidad, de Física de Suelos y de campo del Colegio de Postgraduados., del CIMMYT y de INIFAP-Chapingo: por su ayuda y consejos, así como al poblado San Miguel Tlaixpan que nos facilitó sus terrenos para nuestros protocolos experimentales

ELEMENTOS METODOLOGICOS Y ESTUDIOS SOCIOECONOMICOS EN SUELOS VOLCANICOS ENDURECIDOS

Hermilio Navarro G., Salvador Muñoz A., Felipe Olivares R. y Christian Prat

ELEMENTOS METODOLOGICOS Y ESTUDIOS SOCIOECOMICOS EN SUELOS VOLCANICOS ENDURECIDOS

H. Navarro, S. Muñoz, F. Olivares y C. Prat

Introducción

Los estudios contemporáneos sobre los suelos volcánicos endurecidos se han orientado principalmente a sus aspectos de génesis; de su naturaleza física, química y biológica; de su distribución y dinámica espacial, así como su uso y manejo actual con fines agrícolas. No obstante, consideramos que se ha privilegiado una perspectiva eminentemente técnica; considerando el reducido número de estudios relativos a temáticas de los aspectos económicos y sociales. En la actualidad se generan como investigaciones relevantes las orientadas al significado social y su explicación de erosión y degradación de los recursos.
Nuestra problemática compete a la explicación de la presencia o afloración de los suelos volcánicos endurecidos, debido a la erosión, en vastas superficies de varios países, principalmente de Latinoamérica; la cual entraña un grave problema para las sociedades rurales donde se encuentran dichos suelos.

A fin de aportar elementos para el estudio de los *tepetates* desde una perspectiva social y económica, se incluyen en este capitulo dos orientaciones metodológicas complementarias para el estudio de la erosión de los suelos en general y de los suelos volcánicos endurecidos en lo particular. Esta propuesta es pertinente por la necesidad de contar con un instrumento que aborde el problema de la erosión y de los tepetates con un enfoque holístico, tratando de integrar los aspectos sociales que implican su uso y manejo, con los aspectos técnicos de manejo de los suelos, con el análisis del uso agrícola de los tepetates por los campesinos y , las eficiencias y rentabilidades estimadas que se obtienen al utilizar dicho recurso rehabilitado, con el propósito de producción de cosechas.
Los resultados de investigación en varias regiones del eje Neovolcánico mexicano, realizadas entre 1992 y 1996 se presentan en forma resumida con el objetivo de ejemplificar, por una parte las formas de organización vigentes de sistemas de producción en diferentes latitudes del mismo, por otra las modalidades y potencialidades de su utilización, en el marco de las racionalidades y decisiones implementadas por los productores para la integración de éste recurso en sus sistemas de producción locales.

Consideramos que se aportan elementos nuevos para el estudio del problema de los tepetates desde la perspectiva socioeconómica: primero al considerar estos suelos marginales de interés en el ámbito de los espacios regionales y los sistemas de producción que los configuran y transforman, los esfuerzos de clasificación para generar modalidades de comportamientos generalizadas sobre los recursos y en su caso la evaluación de sus eficiencias e impactos sobre los mismos; contextuar las condiciones económicas familiares y en su caso, la pobreza de algunas regiones con predominancia de campesinos

en su contexto de agriculturas con influencias peri-urbanas, con tradición en emigración, antecedentes sobre el mal manejo y erosión de los agostaderos, atributos en su caso que contribuyen a explicar en su momento a niveles agrarios la formación de tepetates.

Las limitantes de nuestra propuesta son quizá más importantes, entre ellas la insuficiente integración disciplinaria para avanzar hacia el análisis y conocimiento de ésta problemática: el uso marginal de agroecosistemas degradados en condiciones de escasos recursos para la producción; la recreación de complejos sistemas de aprovechamiento de los mismos con fuertes impactos de deterioro; la compleja intervención y papel del Estado, cambiante y transformadora en diversas regiones. Sin duda, lo imprevisible de las nuevas relaciones de mercado y sociales, que imprimen en los comportamientós locales riesgo económico que redunda en nuevas modalidades que favorecen la ampliación de las zonas degradadas.
¿Y de interés para la recuperación de los tepetates? Quizá explicar los comportamientos regionales desfavorables sobre la calidad de los recursos en forma integral, y relacionarlos a los estilos y riesgos para impactar y degradar los recursos agrarios en las dinámicas de medio plazo.

Propuesta metodológica para el estudio socioeconómico de la erosión y de los suelos volcánicos endurecidos

De naturaleza social

En el centro de México se ubica el eje Neovolcánico, el cual ha sido históricamente el asiento de las grandes civilizaciones agrícolas, la región en su conjunto se le ha denominado Mesoamérica.
En esta región se puede estudiar el fenómeno de la erosión y la afloración de suelos volcánicos endurecidos, así como las relaciones de las sociedades humanas que la han ocupado y su relación con la naturaleza.
El 27% de la superficie del eje Neovolcánico, es decir 30,700 km. cuadrados, presenta los suelos endurecidos denominados tepetates, Zebrowski (1992). En esta área la erosión o pérdida de las capas superficiales de los suelos es muy elevada lo que se manifiesta con la afloración de los horizontes endurecidos en vastas superficies, esta se presenta en más del 60% del territorio de las entidades federativas como: Aguascalientes, Distrito Federal, Guanajuato, Hidalgo, Jalisco, México, Michoacán, Morelos, Puebla, Querétaro y Tlaxcala.
La erosión de los suelos se debe fundamentalmente a que estos quedan desprovistos de la cubierta vegetal, desde la perspectiva socioeconómica muchas veces por sobre - utilización de los recursos, dejándolos desprotegidos contra la acción del viento y de la lluvia y sus efectos. La cubierta vegetal es removida por factores múltiples, entre ellos están: la utilización intensiva del suelo para fines agrícolas, el sobre pastoreo, los incendios, la deforestación, la construcción de caminos y edificios, la minería, la explotación de canteras, entre otras.

A la fecha se ha privilegiado el estudio de la erosión de los suelos desde la perspectiva de las ciencias naturales y se han hecho pocos estudios con el enfoque de las ciencias sociales.

El ideal sería que se abordara el estudio desde una perspectiva integradora mediante grupos interdisciplinarios que superen las limitantes de las visiones particulares, para llegar a la comprensión holística del fenómeno de la erosión de los suelos, y de esta manera proponer o señalar las acciones conducentes para disminuir la magnitud del problema, en sí la sobrevivencia de las diferentes especies vivas, incluyendo la sociedad en su conjunto.
En el caso de las ciencias sociales es necesario abordar el problema de la erosión de suelos, que provocan las diferentes sociedades humanas con las herramientas metodológicas apropiadas con el propósito de ponderar las visiones reduccionistas, entre ellas las que afirman que el crecimiento demográfico y la consecuente apertura de las tierras inadecuadas para el cultivo son la principal causa de la erosión.
Para ello, la pregunta nos exige resolver precisiones en su formulación y en el nivel de verificación histórico-espacial para así obtener las respuestas requeridas.

Ante esta perspectiva se puede utilizar el enfoque de la *ecología cultural* desarrollado por Steward (1951), según el cual es necesario analizar los rasgos del ambiente, la economía, la ideología, la organización social, así como la organización política; todo esto en una perspectiva histórica funcional.
El problema de la relación de las sociedades humanas con su entorno físico y su posibilidad tanto para provocar o para controlar la erosión, esta en razón del tipo de relaciones que se dan entre los grupos humanos y el sistema social global al que pertenecen. Si las relaciones dentro de los grupos son de subordinación y explotación, esas mismas relaciones se reproducen entre los hombres y la naturaleza.
De esta manera Godelier (1978), afirma que " el uso del hombre y el uso de la naturaleza estan ligados y no hay crisis en el uso de la naturaleza que no sea una crisis en el modo de vida del hombre". Así pues, el hombre comenzó a doblegar el ecosistema adaptándolo a sus necesidades y con el fin de establecer una estructura social (un sistema de comunicación y organización) que le permitiese dirigir su energía colectiva. Formó grupos para defenderse, domesticar a los animales y levantar cosechas. Su clímax lo tiene en el mito y la religión, el arte y la literatura, el desarrollo de las civilizaciones, en si las culturas.
No obstante, quizá en forma paralela, también intervino en la destrucción de ecosistemas naturales conjuntamente con otros factores. Incluso en la creación de desiertos.

Se puede asegurar que ha existido un aprovechamiento irracional de los ecosistemas por numerosas sociedades, no obstante en épocas y formas de impactarla totalmente diferentes; también se puede asegurar que se ha perdido la sensibilidad de convivencia e interacción con el medio ambiente. Por lo cual se justifica considerar los planteamientos ecológicos interdisciplinarios para lograr un ordenamiento satisfactorio, e implementar una educación ambiental objetiva para modificar conductas y comportamientos hacia la conservación y manejo racional y sostenido de los recursos naturales.
Por ser pertinente a la realidad regional de estudio, con el concepto de integración podemos analizar a la sociedad campesina, la cual forma parte de la sociedad mayor a la que está subordinada, Steward (1951). Cabe recordar que ha sido documentado por varios autores como las sociedades campesinas pluriétnicas se encuentran integradas al modo de producción predominante, estructuradas con relaciones que se dan tanto en los aspectos económicos como políticos.

El modelo de agricultura moderna en México se puede comprender como réplica del modelo norteamericano de modernización agrícola, según Palerm (1980, 1987) y Toledo (1994). El modelo se

caracterizó por un extraordinario consumo de energéticos, la disponibilidad de recursos financieros, baja ocupación de la mano de obra y la especialización productiva, con sustento en el monocultivo.
Sin embargo la extrapolación a México se dio solo en regiones y con manejos solos con condiciones similares a las requeridas en su condición original de agricultura comercial. Por lo tanto, no fue adaptable o lo era de manera imperfecta en numerosas regiones agrícolas, en esencia debido a las diferentes y en ciertos casos contrastantes, condiciones ecológicas, económicas, sociales y culturales. Aun hoy existentes.
En sus términos, en los años setenta se identifica ya una crisis de la agricultura mexicana, causa y efecto sobre una crisis profunda e imprevisible en el mundo rural mexicano, que no ha dejado de transformarse y continua en el marco de la globalización y el ajuste estructural. A fines de esta década se expresa mediante la desocupación: existen 4.5 millones de desocupados estructurales, 2.5 millones de campesinos sin tierra y 2 millones de minifundistas qu requieren ingresos complementarios, García Zamora (1993).

La población rural también creció de manera sustancial y produjo una corriente sostenida y cuantitativamente importante de emigrantes rurales a las áreas urbanas, debido sobre todo a que la capacidad de absorción de la fuerza de trabajo del propio sector agrícola no fué suficiente, Urquidi y Morelos (1979).
Otro de los aspectos del crecimiento de la población rural ha sido el incremento de la presión sobre la tierra agrícola y los recursos naturales en general, provocando el deterioro de dichos recursos. Blaikie (1981), citado por Redclift (1989) nos dice que en circunstancias definidas a los campesinos se les extraen excedentes, los cuales a su vez los repercuten sobre el ambiente, provocando el deterioro del mismo. La afirmación de que el crecimiento demográfico provoca la erosión de los suelos es una verdad a medias, ya que si bien es cierto que hay una relación entre un gran crecimiento demográfico y una degradación de los recursos, no necesariamente el crecimiento demográfico esta ligado a la degradación. Existen las evidencias históricas tanto en Tlaxcala como en otras regiones.
Noción categórica, no obstante en las condiciones actuales y nuevas formas de aprovechamiento de los recursos naturales por las sociedades urbano-industrales, la contextuación de los utilizadores y sus relaciones sobre los mismos, se antojan necesarias en su actualización y tendencias.

Por su parte, la crisis social también se traduce en la migración masiva de los campesinos a las ciudades, en agudización de la lucha por la tierra, en el desgaste de las organizaciones campesinas del Estado, y los diversos en el gran deterioro de los recursos naturales, con la degradación de la tierra, la deforestación y el empobrecimiento del paisaje y del recurso cultural, como esencia de lo rural.
La metodología es evidente al mostrar la necesidad de estudiar las sociedades regionales, rancheras, campesinas e indígenas, interactivas, en su dinámica y relación con la sociedad mayor de la cual forman parte. Estudiar las relaciones que se dan entre estas sociedades y la naturaleza. Numerosos datos muestran que en el Acolhuacan septentrional, Texcoco, la baja de población debido a guerras, la conquista de los españoles y las epidemias que nos heredaron, sin duda provocaron erosión en grandes superficies, que persisten hasta nuestros días.

Para el caso de Tlaxcala, Garcia Cook (1986), nos dice que el control de la erosión que se dió en la fase Tezoquipan, de gran apogeo cultural, -600 a.n.e a 100-200 d.n.e, se rompió el equilibrio entre degradación y control, provocándose una gran etapa erosiva al ser abandonados los terrenos.

Con la colonización hispánica en el siglo XVI el escaso equilibrio se rompió totalmente.
En el caso de Texcoco según Palerm y Wolf (1992), un siglo antes de la conquista, en el viejo señorío Acolhua, que se extendió desde las orillas del lago de Texcoco hasta las sierras que separan al Valle de México con los Valles situados al oeste, había un sistema de riego en terrazas. Las evidencias arqueológicas nos indican que era una zona con una gran población y que hoy está erosionada y deshabitada. Es decir, con la conquista y los cambios tecnológicos que ocasionó, tales como: la utilización del arado, la introducción de nuevas plantas y ganado, el cambio de uso del suelo y de sistemas sociales; fueron un conjunto de practicas de uso y sistemas de manejo que provocaron la erosión en grandes superficies ya para el siglo XVII.

El estudio de las sociedades campesinas nos exige las unidades conceptuales que nos evitan confusiones, una de estas es la de *grupo doméstico* o unidad doméstica campesina, la cual se define como el grupo residencial, compuesto por una o más familias nucleares que pueden o no compartir el mismo presupuesto, Robichaux (1985). Otra es la de Sistemas Económicos Familiares, la cual nos proporciona la constitución y dinámica del sistema de producción como parte de la económia de los grupos domésticos, Navarro y Muench (1990).
Otra unidad son sistemas decisionales que conforman la estrategia cultural y social de reproducción grupal, los antecedentes en la generación de excedentes, los recursos necesarios para costear los trabajos de gestión de su medio. Muchas practicas, en particular en condiciones marginales requieren una gran cantidad de trabajo que los grupos domésticos campesinos ya no pueden llevar a cabo. La causa generalizada se acota en la obligación de que tienen que emigrar a trabajar fuera de su comunidad para satisfacer las necesidades sustanciales de reproducción como grupos.

La metodología debe privilegiar el estudio integral del proceso de cambio social en las sociedades campesinas, las transformaciones de la organización social en lo local, al adaptarse a los cambios que se dan en la sociedad mayor a la cual están integrados.
El estudio de los cambios que se dan a nivel de organización del trabajo en los grupos domésticos, en la transformación de la relaciones entre los grupos de parentesco y la ayuda mutua. El conocimiento de como van desapareciendo poco a poco las organizaciones territoriales, los grupos, los barrios y las mayordomías; entre otras instituciones que normaron el sentido de pertenencia y de estatus social dentro de las regiones y sus comunidades locales. Hay evidencias de un cambio continuo en los valores de las comunidades y sus practicas de manejo de los recursos en relación con la actividad agrícola.

De naturaleza económica

Entre las concepciones y metodologías recientes para conocer y evaluar impactos ambientales, en el marco económico y social, se tiene: la economía ambiental, la economía de los recursos naturales y la estadística ambiental.
En términos de la economía de los recursos, su marco de análisis y evaluación no escapa de los fundamentos económicos, que podemos ejemplificar con: la función de producción y optimización de recursos, los factores e insumos productivos locales, el uso y costo de oportunidad de los recursos, la oferta y demanda de los recursos en la localidad, así como en los mercados estructurantes, vía los canales establecidos de comercialización.

Los elementos de análisis de la economía ambiental son: las políticas ambientales en los recursos naturales -suelo, agua, bosque, aire, otros-, el análisis de riesgos e impacto, la medición y análisis de costo-beneficio, el análisis de costo-efectividad, la eficiencia económica y equidad, la eficiencia social, los incentivos y ejecución de leyes ó normas, las consideraciones morales y la disponibilidad para pagar.
Por su parte, la estadística ambiental nos permite modelizar, por medio de mediciones ó datos, los comportamientos dinámicos de los fenómenos de degradación y erosión de los recursos naturales. Así mismo, nos sugiere modelos para hacer predicciones a través de series de tiempo y el análisis de regresión.
En general, es fácil aceptar que se han desarrollado teorías y metodologías eficientes que nos permiten analizar los fenómenos que impactan de manera negativa el sistema medio ambiental. Estas metodologías pueden emplearse en la problemática del análisis y evaluación de la degradación de los recursos, entre los cuales la de suelos volcánicos y su gestión agroeconómica. Así como para el plantemiento de la importancia de su uso y manejo de forma sostenida, es decir sobre la interrogante ¿si los tepetates son un recurso necesario, de interés colectivo, eficiente para los propósitos de producción y rentable, bajo las condiciones económicas de grupos y unidades familiares de producción agropecuaria ?

En otras palabras, ¿como se evalúa en términos económicos y de impacto ambiental, cual es la mejor manera de usar y manejar los suelos de tepetate a fin de no pagar costos demasiados altos en un futuro próximo a causa de no evaluar las alternativas más rentables ?
Con el propósito de clasificar sistemas complejos de gestión de los recursos, presentamos una metodología estadística multivariada que nos permitió analizar y caracterizar a unidades de producción de una localidad. Esta en el mejor de los casos representativa de las regiones con numerosas localidades pequeñas, sin todos los servicios, con patrones de estructuras agrarias con dominancia de campesinos que disponen de cantidad insuficiente de tierra, sin recursos necesarios económicos y tecnológicos para realizar su aprovechamiento.
Su contexto y situación actual son los severos problemas de erosión de suelos y el afloramiento de tepetate.

Así pues, la estadística es una herramienta muy útil para el manejo y sistematización de datos, así mismo facilita la interpretación de una gama amplia de información cuantitativa y cualitativa, del entorno real y abstracto.
Las metodologías específicas más usuales son la estadística descriptiva y la inferencia estadística, estas contienen teóricamente procedimientos muy específicos para el análisis de datos muestrales de una población con ciertas características.
Nuestra experiencia utilizó el análisis estadístico multivariado, con datos o variables de características agropecuarias y socioeconómicas de los productores y sus sistemas económicos, en la comunidad de Tlalpan, en Tlaxcala.
La técnica empleada para este análisis fue el "cluster o clustering" que significa conglomerar, y consiste en el agrupamiento de productores u observaciones con características muy particulares. Una técnica para agrupar observaciones y/o variables de un conjunto de datos multivariables, en "grupos" con características afines (conglomerados o cúmulos).

La afinidad en los grupos se mide con una noción de distancia en el caso de observaciones, o bien de correlación para el caso de variables.
En la matemática se encuentran muchas nociones de distancia. Estas varían de acuerdo con la escala de medición de las variables, así como con la necesidad de tomar en cuenta aspectos estadísticos de las variables como dispersiones, correlaciones, otros.

- Con escalas fuertes, son familiares las distancias siguientes en Rk:
    1. Distancia Euclidiana
    2. Distancia de Minkowsky
    3. Distancia estadística
    4. Distancia de Mahalanobis
- Con escalas débiles: las nociones de distancia deben modificarse. En estos casos se habla más bien de "coeficientes de similaridad o disimilaridad".

Una vez que se selecciona una distancia, coeficiente de similaridad ó coeficiente de correlación, los grupos se van integrando de acuerdo con distintos criterios. Con base en una matriz de distancias, similaridades o correlaciones.
Con base en una matriz se forman los grupos, de acuerdo a procedimientos de agrupación.
Los procedimientos se dividen en dos grandes grupos:

A) Métodos jerárquicos:
    1) Aglomerativos (de lo individual ==>general)
    2) Divisibles (de lo general ==>individual)

B) Métodos no jerárquicos.

Son más comúnmente empleados los métodos jerárquicos aglomerativos (MJA), sin embargo, tienen algunas limitaciones por lo que también se han utilizado con frecuencia los métodos no jerárquicos (MNJ).
A primera vista los métodos jerárquicos, deberían formar los grupos examinando todas las posibles agrupaciones. Resulta impráctico formar todos los grupos posibles que reducen significativamente el número de posibilidades, una posible elección son los llamados métodos de encadenamiento: simple, completo y promedio.
En el método de encadenamiento simple se considera la distancia más pequeña entre puntos u observaciones; en el método de encadenamiento completo se parte de la distancia más grande; por último, en el método de encadenamiento promedio se promedian las distancias entre observaciones ó puntos.
Entre los métodos jerárquicos hay posibilidad de elegir otros criterios de formación de grupos como el método de "Ward's de mínima varianza y de los Centroides".
Para tal caso, es recomendable usar varios métodos y calibrarlos. Lo anterior, porque existen algunos que no definen bien los grupos en el dendograma, por lo que se recomienda usar varios hasta encontrar el más consistente que defina los grupos en un diagrama de árbol, u otro procedimiento.

El método de Ward's de mínima varianza, es un método jerárquico aglomerativo que sigue varias etapas:
C1: Se cuenta con una matriz de distancias entre observaciones.

C2: Se localiza el par de observaciones con la distancia más pequeña, &1.
C3: Las observaciones con la distancia más pequeña en C2 integran un nuevo grupo. Se modifica la matríz de distancias inicial en C1: se eliminan las filas y columnas de las dos observaciones anteriores, se incluye una fila y columna para el nuevo grupo (el nuevo grupo puede tener una sola observación), y se recalculan las distancias. Identificar el par de observaciones con la distancia menor, &2.

C4: Repetir los pasos anteriores, de manera que se llegue a un numero deseado de grupos, por ejemplo **g**, se tendrán así las etapas y distancias:
C4, C5,...,Cg
&3,&4,...,&g.

Es común que estos resultados se presenten en un Dendograma ó Diagrama de árbol. Dependiendo del nivel de corte en el dendograma, será la definición de los grupos. El nivel de corte y la definición de los grupos en el dendograma depende de los objetivos del trabajo o del investigador, quien al final toma la decisión del nivel de corte o de agrupamiento, para definir los grupos que mejor expliquen el fenómeno estudiado.

La Figura 1, nos muestra la manera como se van formando los grupos ó conglomerados en un diagrama de árbol y las diferentes ramificaciones o agrupamientos de observaciones que se dan; así mismo, ya obtenido el dendógrama como se pueden dar los cortes a diferentes niveles, los cuales nos definiran los grupos (ramificaciones) con características muy particulares. En la citada figura, se presentan tres niveles de corte que definen diferentes grupos dependiendo del nivel de corte, finalmente esto depende de los objetivos de la investigación y de la naturaleza de los datos que se estan analizando. En consecuencia, será el propio investigador el que decide, de acuerdo a sus propósitos, cuantos grupos quiere analizar y donde realizar dicho corte para definirlos.

¿Cual es el mejor método? La respuesta no es sencilla, ya que depende de la naturaleza de las variables X1, X2,...,Xp. Así pues, como se mencionó antes, se recomienda probar varios métodos y observar si existe consistencia entre ellos.
La lección sería probar 4 ó 6 métodos y si varios de ellos nos dan grupos similares, entonces tendremos una clasificación consistente.

Los datos históricos y socioeconómicos se obtuvieron a partir de encuestas efectuadas directamente entre los campesinos y autoridades locales. Estas encuestas consistieron en entrevistas y en visitas acompañadas a los campos de los entrevistados. Esta metodología, con entrevistas cruzadas y comparaciones de los datos entre la gente y, al final del estudio con una presentación y discusión con la comunidad, nos llevó a obtener resultados en principio confiables.

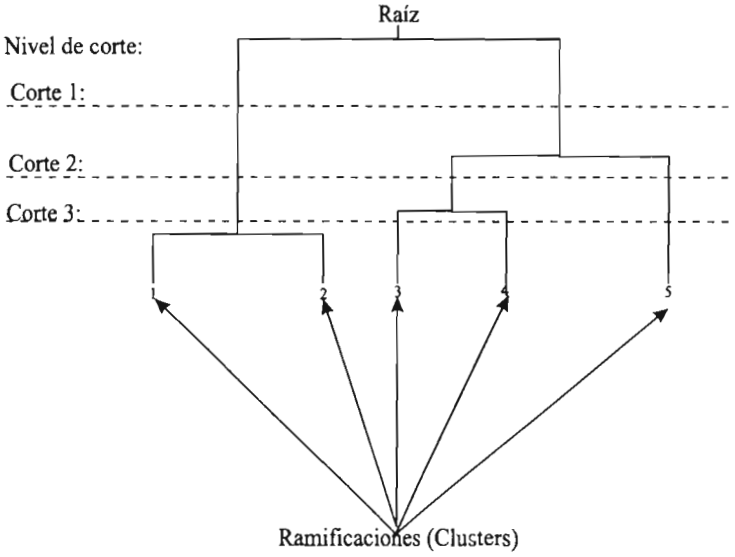


Fig. 1.Dendógrama ó diagrama de árbol para conglomerados jerárquicos.

Organización de sistemas de aprovechamiento de recursos y estrategias económicas de reproducción

En el ejido de Tlalpan, los campesinos siembran cultivos básicos sobre tepetates rehabilitados, considerándolo como recurso y utilizando estrategias organizacionales y productivas de manejo técnico para hacerlo productivo como el suelo normal. Conocer las estrategias y lógicas productivas que los productores realizan cuando se tiene suelo normal y tepetate, y cuando los recursos y medios de producción no son disponibles en la misma proporción para todos, son los objetivos del presente trabajo de investigación.

Observando estas diferencias a dos niveles: conocer el interior de los diferentes SEF la complejidad en el manejo de los recursos, sus estrategias productivas y organizativas, el patrón y rotación de cultivos, analizando los diferentes manejos técnicos, los costos de producción, la rentabilidad y modalidad de reproducción agropecuaria y económica. Además, se pretende conocer la constitución y dinámica de la economía del sistema familiar, porque es donde se encuentran la lógica de las estrategias decisionales de la agricultura campesinal rural, según Mercado (1992) y Loaeza (1994).
Para los productores de Santiago Tlalpan, el método más consistente fué el de Ward's de minima varianza comparado con el Centroide, según el cual los grupos definidos en el dendógrama, en el respectivo nivel y distancia de corte, fueron tres principalmente.

Con la modalidad de estudio de caso, con 32 ejidatarios o SEF que trabajan suelo normal y tepetate, este estudio se desarrolló en tres fases: 1/ Revisiones bibliográficas de la región con visitas continúas de reconocimiento y, al mismo tiempo se elaboraron las encuestas; .2/ Trabajo de campo, el cual consistió en visitar a los productores y registrar todas las actividades realizadas en los procesos de producción agropecuaria, en sus fechas y costos respectivos. Así mismo, se registraron aspectos socio-económicos de las unidades de producción, 3/ Análisis y sistematización de la información, se conformó una matriz de 25 variables con características particulares de los "SEF" y se complementó con un análisis estadísticos multivariable a través del método seleccionado de conglomerados (cluster) y, así finalmente derivar una tipología de productores. El método de Ward's diferenció sustantivamente a 3 grupos o tipos, visualizados en el dendograma.
Esta tipología es el eje principal de análisis del trabajo de investigación. Los resultados finales con 3 tipos de productores bien diferenciados, entre ellos los caracterizamos como: productores grandes, pequeños y medianos. El tipo I de los pequeños productores agrupó a un total de 11, el tipo II de los medianos productores conglomeró a 17 y al tipo III de los grandes productores lo conformaron 4 unidades económicas.

La suma de la superficie sembrada total de las parcelas que integraron la muestra se presentan en el Cuadro 1, donde se observa el patrón de uso del suelo en los substratos de suelo normal como de tepetate y la tendencia de los agricultores a variar su estrategia agrícola, de acuerdo a la superficie total disponible, orientada prioritariamente a la producción de maíz y trigo.
Estos dos agrosistemas son los más importantes, sin embargo existen otros como: la cebada, papa, frijol, haba, chicharo,y frutales, los cuales comprenden superficies muy marginales y poco significativas.

Cuadro1. Superficie sembrada total en suelo normal y tepetate de los cultivos en el estudio de caso, Tlalpan, Tlaxcala.

Cultivos	Superficie total en suelo (ha)	Superficie total en tepetate (ha)	Superficie total (ha)
Maíz	125.2	23	148.2
Trigo	122.3	4	126.3
Cebada	12	0	12
Otros	5	0	5
Total	264.5	27	291.5

Fuente: trabajo en campo y encuestas
Nota: los tres grupos de agricultores diferenciados en el dendógrama se presentan en el Cuadro 1.

El Cuadro 1 muestra la distribución de la superficie sembrada por cultivos, tanto en suelo normal como en tepetate. También se observa que el patrón de cultivos y de uso del suelo es agrícola con dominancia de cultivos como: maíz y trigo. En cantidad menor se tiene la cebada, además de otros cultivos como: haba, papa y frijol.
La superficie sembrada total de 291.5 hectáreas representa el 41.5% de la superficie sembrada total ejidal que posee la comunidad de Tlalpan. La superficie sembrada total de la localidad es de 703

hectáreas de propiedad ejidal. Además, las unidades familiares poseen en promedio 6 miembros en su núcleo familiar.

Cuadro2. Grupos de productores en la estructura agrícola y superficie sembrada promedio normal y de tepetate.

Tipos	Número Productores	Sup. Prop. Ejidal (ha)	Sup. Sembrada 1995 Maíz	Trigo	Otros	Sup. Sembrada en Tepetate con Maíz ó Trigo (ha).
I	11	6.0	3.3	0.2	0	0.96
II	17	8.52	4.0	4.0	0.8	0.78
III	4	16.0	11.0	14.0	1.0	0.81
Promedio		8.6	4.6	4.0	0.5	0.84

Fuente: Encuesta 1994-95

En la estructura de tenencia de la tierra por tipos y la superficie sembrada por cultivos, es evidente la diferenciación que existe entre los tres tipos de productores; primeramente es claro que los productores del grupo I tienen muy poca superficie sembrada. Incluso predomina el maíz, caso contrario con los del grupo II que logran equilibrar las superficies asignando cantidades iguales a los cultivos más importantes. Finalmente, para el caso de los productores del tipo III se tiene que su estrategia productiva es más orientada hacia la producción de cultivos comerciales, pero asignando al mismo tiempo una importante superficie para la producción de maíz para autoconsumo y venta.

El cultivo más importante para los tres tipos es el maíz, su uso para autoconsumo es significativo, suponemos acertada la propuesta que indica su importancia al garantizar y asegurar la reproducción de la unidad familiar.

Por último, el tipo III posee una superficie sembrada total mucho mayor que los demás estratos. Sus diferencias estructurales explicarán finalmente la estrategia productiva y organizativa de dichas unidades económicas, las cuales contribuirán a explicar las rentabilidades diferentes. Además, la posibilidad de los grandes productores que trabajan en economías de escala, con recursos y medios de producción en muchos casos propios.

Cuadro 3. Costos de producción de maíz y trigo en suelo normal y tepetates según tipos representativos de productores ($/ha).

Tipos	Costos de producción En suelo normal Maíz	Trigo	Costo de producción en suelo de tepetate Maíz	Trigo
Productores Pequeños I	1,505.1	1,357.4	1,473.8	-
Productores Medianos II	1,489.1	1,153.3	1,463.6	1,278
Productores Grandes III	1,573.5	1,123.7	1,338.6	1,218.1
Promedio	1,507.1	1,167.8	1,425.3	1,248.1

El procedimiento explica las ganancias por unidad de superficie y la suma de éstas, como se observa en otros párrafos.
Es importante mencionar que los productores de los grupos I y II no registran sus respectivos costos de producción argumentando que no contabilizan porque la producción del maíz es para autoconsumo y no para el mercado. Razón por la que no lo hacen.

En términos generales los costos son relativamente semejantes o existe muy poca diferencia entre cada uno de los grupos. En la estructura de costos totales de producción para el maíz y trigo, observamos diferencias muy ligeras entre ambos grupos. El estrato III es el que realiza y tiene una organización de la producción agropecuaria muy completa, considerando que se dedica exclusivamente a estas actividades todo el año.

Cuadro 4. Ganancia y rentabilidad agrícola por hectárea sin considerar el PROCAMPO.

Grupos	Ganancia en Maíz ($/Ha)	Rentabilidad en Maíz por ha.	Ganancia en trigo ($/ha)	Rentabilidad en trigo por ha.
I	-965.1	-0.64	-312.4	-0.23
II	-733.1	-0.49	49.8	0.04
III	22.25	0.01	462.6	0.41

Fuente: Encuestas

La ganancia y la rentabilidad del maíz y del trigo se evalúan sin considerar el apoyo del Procampo. Se observa que el estrato III es el que posee cifras favorables, no así los demás. Como excepción, el grupo II en trigo logra obtener una ganancia muy pequeña comparada con la inversión realizada.

La ganancia y la rentabilidad del maíz y del trigo se evalúa sin considerar el apoyo del Procampo, en el cual se observa que el estrato III es el que posee cifras favorables no así los demás a excepción del grupo II en el trigo que logra obtener una ganancia muy pequeña comparada con la inversión realizada en la producción. Si por el contrario, consideramos al Procampo (subsidio al ingreso por hectárea cultivada) para determinar la ganancia y la rentabilidad, éstas arrojan cifras más favorables para los cultivos de maíz y trigo, es claro que las pérdidas disminuyen y las ganancias aumentan por efecto de la suma del Procampo a los ingresos lo que también provoca que los costos disminuyan y la rentabilidad aumente ligeramente.

El subsidio juega un papel muy importante durante el proceso productivo, ya que del 95% de los productores que lo tiene, lo utiliza para comprar insumos en su momento como: fertilizante, insecticidas, herbicidas, semilla, maquila, otros. La única desventaja que se presenta en este apoyo es que se entrega de forma extemporánea, es decir, los productores comprometen este apoyo con prestamistas o casas comerciales lo que implica pagar cierto interés o costo por usar el dinero ajeno de manera oportuna.

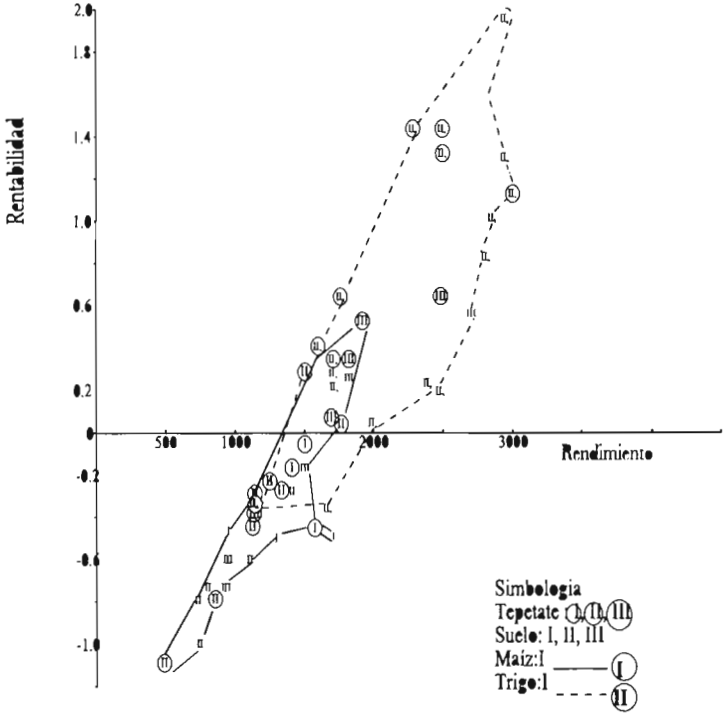


Figura 2. Análisis comparativo de rendimiento grano por hectarea y rentabilidad para maíz y trigo.

Análisis económico de diferentes rotaciones con supuestos económicos comparativos

En la primera etapa del análisis se tomaron en cuenta varios supuestos que facilitaran la comparación. Inicialmente se consideró realizar los cálculos de costos de producción y precios de venta, como matriz básica rotacional con base en 1995, para después realizar escenarios de variación de precios y costos de acuerdo a la orientación del análisis.

En segundo termino se convino elaborar un modelo de análisis y de rentabilidad a partir de los costos directos de producción, es decir que no se tomo en cuenta el costo por el uso del factor de producción capital, ni tampoco el costo de uso del otro factor esencial que es la tierra.

Cuadro 5. Rentabilidad entre rotaciones.

Rotación	Rentabilidad	
	Con M.O	Sin M.O.
T-A-T-T-A	0.74	1.36
V-T-A-T-A	0.54	1.01
A-A-A-T-A	0.91	1.09
Ai-T-A-T-A	0.83	1.15
Ai-A-A-T-A	0.85	1.15
T-T-A-T-A	0.59	0.95
T-T-T-T-A	0.80	1.26
V-A-T-T-A	0.70	1.33
V-T-T-T-A	0.47	1.19

Fuente: Valores estimados para el caso de aplicación de materia con el precio medio regional.

Se observa en el Cuadro 5, que las rotaciones con aplicación de materia orgánica tienen un valor inferior de la rentabilidad a pesar de su mejor productividad. Al respecto es conveniente aclarar que el valor menor se debe a que en el calculo del costo se consideró el costo de la materia orgánica aplicada durante la rotación.

Un primer escenario con costo cero para la materia orgánica aplicada, se ponderó con una rentabilidad promedio entre las rotaciones de 1.63; éste sin duda de una importancia económica de interés. Pero y en términos similares también es imperativo señalar que en el modelo actual de análisis no ha sido incluido el costo de la roturación, inversión que será discutida después de los escenarios económicos y la ponderación de los programas y proyectos de inversión sectorial federal y estatal.

Estimación del valor de la producción de biomasa seca total a la cosecha y grano, según diferentes tipos de rotaciones. A manera de referencia se presentan los resultados en parcelas de agricultores, para maíz y trigo, utilizando "suelo normal" o tepetate, según la Figura 5 de resumen se presentan las diferencias entre los totales de las diferentes rotaciones, considerando el efecto de la aplicación y no de la materia orgánica. En general se aprecia como comportamiento general de los agricultores, que independientemente de utilizar suelos normales o tepetates, es mas bien generalizada la intensificación de la producción y una rentabilidad favorable en el cultivo del trigo en contraste con el maíz, este ultimo esencial de autoconsumo.

La estructura y funcionamiento de los sistemas económicos familiares

Los sistemas económicos familiares ó unidades de producción presentan distintas y complementarias estrategias productivas con sistemas agrícolas y pecuarios, así mismo presentan esquemas de migración, al interior y exterior de la comunidad, así como modalidades de agroasociación entre productores como renta de parcelas, trabajo a medias y al tercio, por último la compra-venta de tierras que se establece entre los productores que tienen más recursos contra los que tienen más necesidad de vender para asegurar la existencia y reproducción de la unidad familiar.

Los subsistemas agrícolas

Hemos observado la disponibilidad de tierra entre los diferentes grupos de agricultores y las modalidades generalizadas de su uso en el patrón de cultivos existente en la comunidad. Anteriormente, se observó que el patrón característico de uso del suelo es eminentemente agrícola con los cultivos del maíz y trigo que abarcan el 94% de la superficie sembrada total, la cebada es un cultivo que en los últimos años ha disminuido tajantemente su superficie a causa de un problema fitosanitario que no se ha controlado y que el producto químico para erradicarlo es demasiado alto su costo. En general, la matriz de recursos y el patrón de uso del suelo, se puede esquematizar en los términos siguientes, Cuadro 6.

Cuadro 6. Disponibilidad de recursos y patrón de uso del suelo.

Grupo	Disponibilidad de tierra	Cultivos		
	(ha)	Maíz	Trigo	Cebada
I	6.0	si	no	no
II	8.5	si	si	si
III	16.0	si	si	si

Fuente: Encuestas.

Los subsistemas pecuarios

Los sistemas de producción ganaderos son estrategias muy importantes de las unidades de producción rurales, ya que permiten fortalecer la economía familiar fomentando el ahorro; es decir, la mayoría de los productores no proporcionan alimentos balanceados sino que aprovechan los esquilmos de las cosechas y los pastos naturales de la región para alimentar su ganado, esto implica bajos costos de producción por unidad y, el fomento de una caja de ahorro en la producción y reproducción de sus especies ganaderas; tal es el caso de las especies de bovinos, ovinos, aves y equinos. En algunos casos, este fondo de ahorro es utilizado en condiciones de emergencia económica por parte de la unidad familiar, así mismo la producción pecuaria es la que asegura un ingreso más favorable que la agricultura o por lo menos no se incurre en pérdidas como veremos más adelante en el flujo de ingresos por subsistemas.

Cuadro 7. Estructura pecuaria por grupos en Santiago Tlalpan, Tlaxcala.

Grupo	Número de bovinos.	Número de ovinos.	Número de aves	Número de equinos	Total
I	0	0.5	5.6	0.5	6.6
II	2.9	2.9	10.7	0.9	17.4
III	3.3	25.3	9	0.3	37.8

Fuente: Encuestas.

La estructura pecuaria por especie muestra que la mayoría posee más de tres especies de ganado, únicamente se diferencian por las cantidades en cada uno de los grupos, pero el estrato I es el que no posee ganado bovino; sin embargo, es muy clara la ventaja que poseen las unidades de producción del grupo III más aun si las representamos en términos de ingreso por unidad de especie que veremos más adelante de este apartado.

Los medios de producción genéricos

Una de las ventajas oportunas y estratégicas en las unidades económicas familiares es la disponibilidad de medios y factores de la producción, es decir, la posesión individual e inmediata como oportuna de los medios de producción para llevar a cabo el proceso productivo; sin duda, este es un componente esencial para la toma de decisiones, por parte del productor, en los diferentes subsistemas de la unidad de producción; ahora bien no todas las unidades de producción poseen todos los medios necesarios sino que tienen que recurrir con otros para disponer de ellos y realizar sus respectivas prácticas productivas en sus diferentes procesos de producción. Así pues, el siguiente Cuadro nos muestra la distribución de ellos en los diferentes grupos de productores de la comunidad en estudio.

Cuadro 8. Medios de producción disponibles en los grupos de la tipología de productores.

Grupo	Yunta	Tractor	Yunta y Tractor	Camión/ Camioneta
	<----------%---------->			
I	36.4	0	0	18.2
II	94.1	41.2	41.2	70.6
III	50	100	50	100
Promedio	68.8	34.4	28.1	56.6

Fuente: Encuestas.

En el Cuadro 8 se observa que el grupo III se encuentra totalmente capitalizado o dispone de la mayor parte de los medios de producción y de transporte necesario para llevar a cabo de manera eficiente los procesos de producción; en tanto, el grupo II presenta ligeras tendencias de diferenciarse y pasar el estrato III. Pero es claro que la mayoría de los grupos poseen al menos una yunta y en el caso, de la disponibilidad de tractor y yunta-tractor, los grupos II y III son los que disponen de ellos lo que favorece la realización oportuna de sus prácticas agrícolas en los diferentes procesos productivos de los subsistemas en el marco del funcionamiento de la unidad de producción.

La migración y otras actividades económicas estrategia básica para viabilizar la reproducción del sistema familiar

La migración es un fenómeno recurrente y muy dinámico en la región de estudio así lo expresa Mondragón (1992) en su estudio de emigración realizado en la cabecera municipal de Hueyotlipan, Tlaxcala, determinando que el principal destino permanente son los Estados Unidos. Paralelamente,

visitó las oficinas de correo y analizó los envíos de giros internacionales del año de 1991, los cuales sumaban una cantidad de $95'687,280 y para 1992 (enero-junio) se contabilizó la cantidad de $14',620,641. Esto da una idea de lo que ingresa al municipio de Hueyotlipan por concepto de dinero vía los emigrantes, sin tomar en cuenta lo que se cobra en los Money Order Internacionales que se cambian en los bancos y en las casas de cambio. Esta actividad junto con la realización de otras actividades no agropecuarias y algunas modalidades de agroasociación como estrategias económicas productivas son las que realizan frecuentemente las unidades de producción para contrarrestar los efectos negativos de la política económica y de los ajustes estructurales por los que esta pasando el sector agropecuario en su conjunto.

Cuadro 9. Emigración, modalidades de agroasociación y estrategias económicas.

Grupo	Emigración por familia (%)	Actividad no agropecuaria (%)	Renta de tierra: dan o reciben (%)	"Al tercio": dan o reciben (%)	Compra-venta de tierra (%)
I	11	82	0	55 (d)	18 (v)
II	35	65	6 (r)	6 (r)	24 (v), 6 (c)
III	25	0	50 (r)	75 (r)	50 (c)

Fuente: Encuestas.
r: reciben tierras en renta y al tercio, d: dan tierras en renta y al tercio; v: han vendido tierras, c: han comprado tierras.

La unidad de producción toma decisiones congruentes con su realidad, así mismo desarrolla estrategias que le permitan adecuarse y funcionar como tal. En el Cuadro anterior, se observan las características de estos fenómenos en cada uno de los grupos, en el que el de los grandes productores se caracteriza por disponer de recursos que le permiten comprar tierras, rentar parcelas, recibir parcelas "al tercio" y no realizar otras actividades que no sean del sector agropecuario exclusivamente; así, se concluye parcialmente que los ingresos y el trabajo es suficiente como para dedicarse de tiempo completo a la agricultura comercial y a la maquila. Caso contrario, sucede con los productores pequeños y medianos que tienen que emigrar, realizar otras actividades no agropecuarias para complementar sus ingresos, dar a rentar y al tercio sus parcelas, como realizar venta de las mismas por no poseer la capacidad económica para hacerlas productivas.

Estimación de los flujos de ingreso anual de la economía familiar

En este apartado se presentan, de forma estimada, los flujos de ingreso/ganancia ó pérdida que poseen los diferentes grupos de productores, es decir, se analizan las utilidades y rentabilidades que obtiene la unidad de producción en los subsistemas agrícolas y pecuarios, para llegar a obtener la ganancia en todo el sistema agropecuario considerado como estrategia productiva de uso y manejo de recursos por parte del sistema económico familiar. Debe quedar claro que los ingresos por emigración, otras actividades no agropecuarias, renta de parcelas, modalidad "al tercio" y venta de tierras, no se consideran en este rubro. Así mismo, la modalidad "al tercio" se considera como una estrategia de agroasociación que desarrollan los productores que dan sus parcelas y los que las reciben dan cambio, de esta transacción, un 1/3 de la producción que es la que se apropia el dueño de la tierra y el resto el que la cultiva o el que recibe dicha superficie. Por ejemplo, si una hectárea de tierra trabajada "al

tercio" produce 1.5 toneladas de grano, el dueño de la parcela se apropia de 0.5 toneladas y el que la cultiva se queda con el resto, es decir 1.0 toneladas de grano.

Cuadro 10. Ganancias anuales por grupos según la estrategia productiva agropecuaria del SEF.

Grupos	Ganancia agrícola por SEF ($)	Ganancia pecuaria por SEF ($)	Ganancia agropecuaria por SEF ($)	Salarios mínimos generados al año por SEF
I	-1,707.3	337.4	-1,329.9	-86.1
II	786.8	1,630.7	2,417.5	156.1
III	17,721.2	4,863.8	22,585	1,462.8

Fuente: Encuestas.
Nota: Las ganancias se expresan a pesos de 1995 y los salarios mínimos son de ese mismo año para la región a la que pertenece el estado de Tlaxcala.

En el Cuadro 10, se observan los flujos de ganancias y pérdidas en los diferentes grupos de productores estratificados, así mismo vemos que los pequeños son los que obtienen al final pérdidas dado que en el subsistema agrícola éstas son muy significativas aunque presenten ganancias favorables en el pecuario éstas no bastan para revertir las cifras negativas. Caso contrario, lo presentan los productores de los grupos II y III, pero específicamente este último que tiene los ingresos mucho mayores en cada uno de los subsistemas y en el sistema agropecuario en general, lógicamente genera mucho más salarios mínimos por efecto de los altos ingresos en la unidad de producción. El salario mínimo es el que rige en la región a la que pertenece el Estado de Tlaxcala y que, para 1995 fue de $15.5 por día, el cual si lo dividimos por el flujo de ingresos agropecuarios nos da el total de salarios mínimos generados en la unidad de producción.

Experiencias en cuatro comunidades del Altiplano mexicano

Los resultados técnicos, edáficos y agronómicos de la rehabilitación de los tepetates empezaron a ser complementados recientemente por una serie de trabajos relacionados con el seguimiento de la economía y de los itinerarios técnicos de unas familias en el Valle de México y de Tlaxcala, Márquez *et al.* (1992); Navarro y Zebrowski (1994); Muñoz y Navarro (1997).
Con base a tales resultados se analizaron en situación real, las mejores condiciones para cultivar los tepetates después de su roturación en una agricultura de sequía de pequeños campesinos. Estos objetivos implicaban no solamente un conocimiento de las prácticas agrícolas de estas comunidades rurales, sino también estimar las posibilidades de replicar los resultados obtenidos al resto del eje Neovolcánico mexicano. El propósito fue caracterizar unas comunidades campesinas y evaluar la importancia de los tepetates sobre la agricultura, en áreas donde no se había analizado hasta ahora bajo este enfoque, Prat *et al.*, (1997).
El trabajo se enfocó en dos niveles de análisis: 1) el estudio de la comunidad a nivel general, incluyendo el medio físico, el contexto histórico y económico; 2) un análisis más preciso de cada grupo de sistema de producción encontrado en las comunidades y sus interrelaciones. En estos dos niveles,

se determinó de que manera y en que medida los tepetates tienen un impacto sobre la dinámica socioeconómica y las estrategias de funcionamiento de los sistemas de producción familiares.

Un medio natural difícil

Las comunidades estudiadas se encuentran a lo largo del eje Neovolcánico central, lo que corresponde al altiplano central mexicano. Las altitudes varían entre los 1700 a los 2800 msnm por lo que se refiere a la zona de cultivo, mientras que de 2800 a los 4000 msnm, se encuentra la zona de bosques y praderas. Las tierras de las comunidades se extienden de los pie de montes con relieve de lomas, hacia las cúspides de la sierra con pendientes muy fuertes. Las planicies son rarísimas.
La temporada de lluvia dura 6 meses (mayo a octubre), con precipitaciones que varían de 600 a 1200 mm anuales. Hay un pequeño período de fin de julio a inicio de agosto con poca lluvia. Las lluvias son irregulares tanto de un año a otro, como a lo largo de la época de lluvia. Además, existe siempre posibilidades de heladas tardías (abril-mayo) o tempranas (septiembre-octubre) que pueden afectar los cultivos y los rendimientos. Estos dos factores: lluvias irregulares y riesgos de heladas hacen del cultivo de temporal un cultivo con altos riesgos.

Los suelos tienen un origen volcánico reciente (unos miles de años). En las partes altas, con un clima templado y húmedo, se localizan los suelos de ando. Los suelos con características vérticas se localizan en las depresiones y a veces sobre las lomas. Allí, se encuentra por lo general, los faeozems, los brunisoles, otros. Los tepetates se encuentran en estos suelos a unos 50 cm de profundidad, a menos que afloren a causa de procesos erosivos, generalmente antrópicos. Su espesor, varia de unos 0.2 a más de 2 m. Los suelos erosionados están presentes en todas las comunidades, y siempre al nivel de ruptura de la pendiente, o sea de piedemonte. Se trata de una erosión regresiva en cárcavas, las cuales pueden tener varias decenas de metros de profundidad.
Los recursos débiles en agua, el clima seco, el tamaño reducido de las cuencas hidrográficas, el medio pierde su capacidad de retención en agua a raíz de las agresiones que tiene que sufrir y las necesidades de abastecer de agua a las poblaciones que no dejan de crecer, son los factores que contribuyen a reducir drásticamente las posibilidades de riego en estas zonas de piedemonte.

Un medio natural sobre explotado por las comunidades campesinas

El uso agroforestal del medio natural, generalmente antiguo (a veces antes de la época prehispánica), intensivo y muchas veces mal manejado, favorece la degradación de estos medios frágiles, Navarro y Prat (1996). Por eso, las áreas de afloración de los tepetates son numerosas y extensas. Históricamente, estas zonas de piedemonte fueron ocupadas por pequeños campesinos expulsados de las planicies por terratenientes, durante la colonización española. Desde la revolución de 1917, la tierra puede ser de propiedad privada, ó de propiedad comunal o ejidal. En el caso de los ejidos, la tierra pertenece al Estado, pero esta se distribuyó a los miembros del ejido en función de sus necesidades. De hecho, desde más de 80 años, el fraccionamiento de la tierra no dejo de aumentar, conduciendo a la entrega de parcelas cada vez más pequeñas. Sin embargo, existen arreglos entre los campesinos y el derecho de vender estas tierras desde 1993 (modificación del artículo 27 de la constitución mexicana), haciendo posible que algunos productores no disminuyeran demasiado sus superficies, y hasta que lograran aumentar en superficie sus propiedades. Las mejores tierras se entregaron al momento de la primera

dotación, y conforme el tiempo, la calidad de las tierras atribuidas va empeorando. Actualmente, los agostaderos corresponden a zonas con fuertes pendientes y/o piedras y/o tepetates aflorando y/o con una erosión hídrica regresiva de gran intensidad. Por supuesto, son estas las tierras que se repartieron al último.

Cuadro 11. Tenencia de la tierra en superficie y modalidades de su uso.

Comunidad	Ejido	Bienes comunales	Pequeña propiedad	Superficie promedia/activo*	Sup. con riego	Población
Sta. Catarina (Edomex)	700 ha(30%) 250c/450b	1736 ha(70%) 900c/836b	0	0.5 ha	200 ha (15%)	3 400
Tlalpán (Tlaxcala)	737 ha (100%) 737c/0b	0	0	5 ha	0	800
Las Cruces (Jalisco)	2 112 ha (71%) 1 300c/542a/27	0	855 ha (29%)	3 ha	0	1 000
El Pedregal (Michoacán)	1 200 ha (70%) 690c/40a/470b	0	400 ha (30%)	2 ha	0**	1 000

* En promedio, hay 3 activos por explotación. Este valor de superficie es una estimación entre superficie, número de activos, porcentaje de la población de cada categoría. Por eso, hay que tomarla como un dato relativo que ilustra el grado de parcelación de las tierras

** Hace 20 años, se abandonaron 60 ha de riego a causa del crecimiento poblacional que obligo a usar el agua para el consumo.

Es importante recalcar que las superficies cultivadas en las 4 comunidades estudiadas son bastante pequeñas, y es una minoría de campesinos que tiene más de 8 ha, Cuadros 11 y 12. De ahí se deriva la importancia del área del ejido que tiene un uso comunitario (bosques, agostaderos). Se aprovecha tanto la madera (principalmente para la leña) como las demás plantas para el pastoreo del ganado. Tlalpán no posee tal área, porque en 1992 se roturaron las últimas 200ha de agostaderos para darles un nuevo uso agrícola y poder entregar una dotación de tierras a los jóvenes ejidatarios.

Unidades de producción pequeñas y pobres

La superficie de cada rancho así como la calidad de las tierras explican parcialmente las lógicas de funcionamiento de los sistemas de producción. Por eso, se estableció la tipología de los sistemas de producción en parte con estos parámetros (superficie cultivada y suelos) pero más que todo, según el grado de mecanización (número y tipo de maquinaria), de tecnificación (frecuencia de uso y cantidades de fertilizante), de la actividad ganadera y el trabajo familiar, el destino de la producción hacia el autoconsumo o de la especialización hacia especulaciones rentables tales como la ganadería o ciertos cultivos comerciales.

Cuadro 12. Los grupos de productores en las comunidades estudiadas.

Sta Catarina (Edomex)	Tlalpan (Tlaxcala)	Las Cruces (Jalisco)	Pedregal (Michoacán)
Pequeños productores no especializados			
Campesinos no especializados S<0,5 ha 90% (1)	Pequeños campesinos: maíz S<5 ha 62% (1)	Campesinos sin tierras: maíz S=0,5-2 ha 20% (1)	Pequeños campesinos: policultivos S<0,5 ha 45% (1)
Campesinos con animales S=1-2 ha 5% (1)	Productores: maíz+trigo/cebada S=4-9 ha 21% (1)	Policultivos con arado animal S=1,5-4 ha 35% (1)	Medieros:policult+pequeña ganadería S=1,5-2 ha 35% (1)
Productores especializados			
Horticultores S<0,5 ha 5% (1)	Productores mecanizados S=8-15 17% (1)	Policult-ganaderos alquilando tractores S=2,5-9 ha 35% (1)	Arboricultores S=1,7-1,9 ha 10% (1)
		Policult-ganaderos con tractores S=6-11 ha 10% (1)	Engordadores y negociantes S=2,8-3,5 ha 10% (1)

(Las superficies indicadas (S) corresponden a las superficies cultivadas por activo en la UP. (1) y corresponde la importancia en % del grupo de campesino de la zona estudiada en relación al número total de campesinos).

En el Cuadro 12 se observa los campesinos pequeños, sin medios de producción, son productores de edad o familias cuyos hombres salen a trabajar fuera o como peón. Las pequeñas unidades de producción no especializadas donde predominan los cultivos de autoconsumo (maíz y frijol, principalmente) representan en promedio 80% del total de las unidades identificadas, poseen algunos animales. El tamaño de estas UP es por lo general, inferior a 2 ha por activo, con 0.5 ha para los más pobres y hasta 9 ha en el caso de Tlalpan.

La productividad de los tepetates cultivados desde varios años es similar a la de los suelos. Los rendimientos son más altos en las UP grandes y mecanizadas que en las pequeñas que usan pocos y/o mal los fertilizantes. Los riesgos climáticos explican también las variaciones de producción. Los campesinos manejan los tepetates rehabilitados como el resto de sus tierras, sin cambiar sus itinerarios técnicos. Pero la rentabilidad del maíz implica tener rendimientos >1.5 t/ha (alcanzados con dificultad) y >1.8 t/ha para la cebada o el trigo (fácil de alcanzar).

Frente a estos problemas y a sus diminutos recursos económicos, muchos campesinos desarrollan alternativas para obtener fuentes complementarias de dinero. Así, hay campesinos que se dedican a producciones muy específicas: Producción de flores en Sta. Catarina, pulque en Tlalpán, tomate (*Physalis isocarpa*), flores en Las Cruces, frutales (duraznos y aguacates) y colecta de la sabia de los

pinos, en El pedregal. También, el alquiler de maquinaria (tractor, molino de forraje, etc.), de yunta, y de transporte son elementos importantes que hay que tomar en cuenta en la tipología.

Las producciones implican por lo general un capital inicial fuerte que no esta al alcance de la gran mayoría de los campesinos, y los que pudieron hacerlo, fue porque lograron conseguir dinero fuera de la actividad agrícola. Muchas veces se requiere, además del capital, de un conocimiento tanto en la producción como en la venta de los productos, lo que tampoco esta al alcance de la mayoría. Además, estas actividades tienen sus riesgos y dependen de mercados fuera de control del campesino, ya que estas producciones están destinadas a las grandes ciudades mexicanas o extranjeras. Por eso, los precios y cantidades vendidas son muy fluctuantes siendo factores de incertidumbre y de riesgo.

La ganadería y los tepetates

En todo México, la ganadería sigue desarrollándose desde varios años, en las comunidades estudiadas se práctica bajo diferentes formas, pero la más habitual es de tipo extensivo, con animales, a veces reagrupados para conformar un rebaño bajo la vigilancia de un niño o anciano. Los agostaderos están ubicados en los bosques pertenecientes a los bienes comunales y a veces a los ejidos, a las cercanías de las áreas cultivadas y en los campos después de las cosechas. Los cultivos destinados específicamente al ganado son pocos, pero existen prácticas que permiten mejorar su alimentación (molido de los residuos de cultivos, incorporación de complementos nutrimentales, etc.) son relativamente habituales. El ganado representa no solamente un capital fácil de obtener en caso de necesidades, pero también una fuente de recursos vía la producción de leche y/o su alquiler para el transporte y los trabajos del campo (arado, limpieza, etc.) y por supuesto, la venta o engorda de animales.

Sin embargo, el desarrollo actual de la ganadería tiene un gran impacto sobre el medio natural ya que hay una sobrecarga de animales en las áreas de agostaderos con relación a las capacidades del medio. Ahora bien, estas zonas son frágiles de por sí, ya que están constituidas por tepetates aflorados o aflorando o por bosques que generalmente se ubican en sitios con pendientes fuertes, dando como resultado una degradación acelerada de estas zonas y conduciendo al aumento en la extensión de los tepetates. Pero, aun con ganadería, la mayoría de las UP sin recursos exteriores al campo sobreviven con grandes dificultades.

Sobrevivir o emigrar en forma temporal o permanente

Es importante subrayar que no son siempre los que tienen más maquinaria y/o más tierras los que ganan más. En efecto, los campesinos muy mecanizados soportan una inversión muy fuerte, a veces desproporcionada con relación a la cantidad de trabajo que pueden aportar. También son ellos los que tienen mayores créditos y por lo tanto lo que, explica su equilibrio financiero delicado.
Finalmente, los que logran alcanzar cierto equilibrio económico, pero con un nivel de vida bajo, son los que tienen animales, equipo (arado, pulverizador, etc), alrededor de 2 a 5 ha y que tienen una producción diversificada. También, están los casos de productores innovadores: los cuales cultivan frutales, hortalizas, flores, o bien se dedican a la compra/venta de animales que generalmente es una actividad que genera buenos ingresos.

Haciendo el balance de los ingresos económicos, es obvio que la gran mayoría de los campesinos se pueden mantener gracias a una fuente exterior de dinero. Estos recursos que pueden alcanzar el 80% de los ingresos anuales, son obtenidos por lo general, en empleos en la ciudad, en la ciudad de México, así como en los Estados Unidos, de manera temporal o permanente para uno o varios miembros de la familia. Las temporadas de estancia fuera del país puede ser de unos cuantos meses hasta años, de un miembro o más de la familia que regresa o que se queda allá. Pero también, puede ser de trabajo dentro de la comunidad (albañil, artesanía) o fuera de ella. La posibilidad de alquiler de equipo (tractor, yunta, molino) o tener un transporte que permita transportar y vender mercancía en zonas lejos de los "coyotes", permite conseguir precios de venta más altos, siendo esta otra forma importante para conseguir la entrada de dinero a la unidad dc producción.

La proximidad de las ciudades favorece el trabajo fuera del campo, logrando convertir a veces (en particular en Sta. Catarina) a la agricultura en actividad de fin de semana; mientras que en zonas aisladas, los agricultores no tienen otra opción que irse del pueblo para buscar un trabajo fuera y regresan solamente para las principales labores que requieren mano de obra (preparación de la tierra, siembra y cosecha), dejando al resto de los integrantes de la familia (mujer, niños y ancianos) la tarea del manejo de los cultivos agrícolas. La proximidad de las grandes urbes y la necesidad creciente de viviendas tiene como efecto un cambio en el valor y en el uso de la tierra, cambiando su uso de agrícola a urbano, multiplicando con esto su valor monetario, de tal manera que resulta conveniente rehabilitar tepetate aflorado, transformándolo en un suelo normal, debido a que las casas requieren de un solar productivo.

Conclusiones

Para abordar el estudio de la erosión de los suelos y de los horizontes volcánicos endurecidos "tepetates", metodológicamente se deben analizar los aspectos económicos y sociales para poder entender la complejidad del fenómeno, es decir, se debe estudiar el problema de manera interdisciplinaria y holística con la finalidad de entender, generar y fomentar alternativas estratégicas para revertir la problemática de la erosión y hacer un aprovechamiento óptimo de los tepetates incorporados a la producción de cosechas y, que aumentan la frontera agrícolas de las unidades de producción y aseguren la reproducción de la familia rural.

En el marco metodológico del análisis económico para los sistemas económicos familiares (SEF), la técnica estadística multivariada a través del método de conglomerados (clusters), permitió determinar una tipología de productores en la comunidad de Santiago Tlalpan; así mismo, el método de Ward's de mínima varianza permitió agrupar y caracterizar a tres grupos bien diferenciados entre ellos, siendo el más consistente. Por lo tanto, los clusters son una buena alternativa metodológica para agrupar, conglomerar y hacer tipologías de productores considerando una infinidad de variables con escalas fuertes y débiles.

El manejo del tepetate y del suelo normal esta determinado por la disponibilidad de recursos en la unidad familiar, por la superficie cultivada y por las necesidades especificas del trabajo técnico. El

patrón generalizado de uso del suelo, dominante en ambos sustratos, es maíz-trigo para los grupos II y III, y únicamente maíz para el grupo I (productores pequeños). Para el manejo de los mismos las unidades de producción desarrollan lógicas organizacionales como estrategias de uso y manejo de recursos, pero también crean nuevas modalidades de agroasociación para poder afrontar los efectos del ajuste estructural de la economía mexicana y del sector agropecuario, en particular.

El maíz tiene un papel fundamental en la reproducción de la unidad familiar, ya que actúa al interior de ésta como regulador entre el cultivo comercial, la penetración mercantil y la propia reproducción de los tres grupos de productores por su uso como bien alimentario. Además, la producción de maíz es de autoconsumo en los tres grupos de unidades de producción. Por el contrario, el trigo se comercializa directamente como una estrategia que permite la capitalización de los grupos II y III, pero este último es el que posee los suficientes medios de producción y no recurrre a otras actividades no agropecuarias para complementar sus ingresos, caso contrario sucede con los grupos I y II que por su bajo ingreso desempeñan otras actividades productivas para complementar sus ingresos mínimos necesarios para la estabilidad de la unidad de producción y la reproducción familiar.

El análisis agroeconómico muestra que el maíz es un cultivo no rentable para los grupos I y II, el grupo III es el que presenta una ligera rentabilidad con y sin Procampo. Por su parte, el trigo arroja una ligera rentabilidad para el grupo II y III, considerando el Procampo; muy aceptable es para el grupo III que obtienen los más altos rendimientos de grano y los más bajos costos de producción por hectárea. Además, el crédito fue muy restrictivo para todos los grupos de productores debido al alto índice de cartera vencida en la que se encuentran la mayoría de productores. Por su parte, el apoyo de Procampo es el que permite mejorar la rentabilidad del cultivo del maíz y del trigo, principalmente; por otra parte, los ingresos provenientes por la emigración permiten la refuncionalización de los sistemas de producción de la unidad económica familiar.

Las comunidades campesinas estudiadas son pequeñas, por su superficie y población. Tienen un entorno climático difícil por la escasez e irregularidad de las lluvias, por los riesgos de heladas así como fragilidad por las pendientes y los suelos con tepetates. A lo largo de la historia, los hombres utilizaron, y muchas veces, abusaron de estos medios naturales, destruyendo cada vez más la vegetación y los suelos, conduciendo al afloramiento de los tepetates, tobas volcánicas endurecidas y estériles. Desgraciadamente, las condiciones de vida no se mejoraron a cambio del daño al medio. La gran mayoría de los productores son pequeños campesinos, con poca superficie disponible, falta de capacitación, con poca utilización de fertilizantes y agroquímicos y realizando actividad pecuaria en baja escala.

Para poder seguir viviendo en el campo, se deben garantizar buenos precios de la producción, desarrollar canales de comercialización, mejorar los sistemas de producción y/o aumentar la superficie cultivada. Si los dos primeros puntos están fuera de nuestro análisis, podemos sin embargo llegar a hacer propuestas para los otros dos con base en los resultados de los estudios socioeconómicos y experimentaciones agronómicas.

El uso de fertilizantes, con dosis adecuadas, aplicadas en dos o tres oportunidades a lo largo del ciclo de cultivo, la diversificación de las producciones, el uso del riego (por lo menos al inicio del periodo

de cultivo) y la rehabilitación agrícola de los tepetates son también parte de esta estrategia de mejoramiento de los recursos económicos. En este último caso, se trata de aumentar la superficie cultivable, pero las tierras disponibles para nuevas distribuciones y/o ventas son también escasas y sobre todo de mala calidad, ya que casi siempre corresponden a suelos erosionados, con piedras, con pendientes muy fuertes, y/o con tepetate aflorando o aflorados, sin embargo la rehabilitación agrícola de terrenos estériles es técnicamente factible como lo demuestran claramente los resultados de los experimentos del programa de rahabilitación de suelos volcánicos endurecidos (ORSTOM-CP) en los estados de México y Tlaxcala.

El cambio de uso del suelo de estas tierras significa en muchas de las comunidades la supresión de los agostaderos y por lo tanto la necesidad de encontrar otra fuente barata de nutrición para los animales, y la supresión de una zona de producción de leña para toda la comunidad y por lo tanto, la necesidad de encontrar otra fuente de energía. Por lo tanto resulta necesario resolver esta problemática logrando una buena integración agrícola - ganadera que implica la siembra de cultivos forrajeros como maíz, sorgo, trébol, alfalfa y gramíneas sembrados como monocultivos o bien en asociación con maíz. En cuanto a la fuente de energía, se puede implementar la siembra de árboles para la leña en los bordos de las terrazas, de los caminos, etc; como una solución.

Pero todas estas propuestas implican recursos económicos, prestamos con tasa baja, apoyo técnico y finalmente decisiones políticas.
La mayoría de los campesinos no tienen recursos y tampoco logran sacar mucho de sus tierras, parecen sembrar y guardar sus tierras más como una seguridad que en una perspectiva de desarrollo agrícola, ya que la gran mayoría obtienen un mayor ingreso al exterior de la comunidad. Por eso, no hay inversiones ni voluntad o capacidad para hacerlo. De todas formas, los costos de rehabilitación agrícola de los tepetates son demasiados elevados para casi todos los campesinos (alrededor de 1000 $/ha con el apoyo estatal en Tlaxcala y el triple en el privado), aún que el valor de la tierra aumenta y la inversión se pueda recuperar en un período de 5 a 8 años, en los sistemas de producción que usan yuntas y/o tractores, esta inversión es muy alta al principio e implica necesariamente, una colaboración financiera exterior (Estado, ONGs, uniones de créditos,etc.). A manera de ejemplo, en el Estado de Tlaxcala, el gobierno local aporta la maquinaria y el productor cubre los gastos de operación (combustible, alimentación del operador, entre otros).

Bibliografía

Alexandre J-L. 1996. Etude de deux communautés paysannes de l'Etat du Michoacán. Rapport d ESAT 1, CNEARC. Montpellier, France. 70p.

Barkin D., y T. King. 1979. Desarrollo económico regional (enfoque por cuencas hidrológicas de México), Editorial Siglo XXI, México.

Blaikie, P. 1985. The political economy of soil erosion in Developing countries, Longman, Inc. New York, USA.

Centro de Estudios Económicos y Demográficos. 1981, Dinámica de la Población de México, El Colegio de México, México.

Cook S., F. y Borah, W. 1989. El Pasado de México: Aspectos Sociodemográficos. Fondo de Cultura Económica, México.

Faugère G. 1995. Etude d'une communauté paysanne de l'Etat de Jalisco (Mexique). Rapport d'ESAT 1, CNEARC. Montpellier, France. 70p.

García C., A. 1986. Control de la Erosión en Tlaxcala: Epoca Prehispánica, Boletín del Instituto Nacional de Antropología e Historia, México.

García Z., R. 1993. Crisis y Modernización del Agro en México, 1940- 1990, Universidad Autónoma Chapingo, México.

Godelier, M. 1978. l'appropriation de la Nature, Territoire et Proprieté dans quelques formes de societés precapitalistes, Revue La Penseé, No. 198. Paris, France.

Hewit de A., C. 1980. La Modernización de la Agricultura Méxicana,1940-1970, Editorial Siglo XXI, México.

Lepigeon I. 1994. Structures agraires de l'ejido Tlalpan, Etat de Tlaxcala, Mexique. Rapport d'ESAT 1, CNEARC. Montpellier, France. 70p.

Loaeza R., G. 1994. Lógicas organizacionales de la agricultura en el Valle de Oaxaca: El caso de Soledad, Etla, Oaxaca Tesis de M.C. Programa de Estudios del Desarrollo Rural, Colegio de Postgraduados, Montecillo, México. pp 61-64.

Ly B., T. 1993. Evolution d'un système agraire péri-urbain et études des systèmes de production de la commune de Santa Catarina del Monte. Rapport d'ESAT 1, CNEARC. Montpellier, France. 70p.

Márquez R., C: Zebrowski. y H. Navarro. 1992. Alternativas agronómicas para la recuperación de tepetates. Terra 10, Número especial. ORSTOM-CP, México. P 465-473.

Mercado M., J. 1992. Estrategias de reproducción campesina y cambio en el patrón de cultivos, un estudio de caso: Hueyotlipan, Tlaxcala. Tesis de M.C. Centro de Desarrollo Rural, Colegio de Postgraduados, Montecillo, México. pp 35-40.

Muñoz S. y H. Navarro. 1997. Uso de recursos, rentabilidad y sustentabilidad en los sistemas económicos familiares (SEF). In: Zebrowski et al. (Eds), Actas del Tercer Simposio Internacional sobre Suelos Volcánicos Endurecidos. ORSTOM, Quito, Ecuador. p 492-500.

Navarro H. y C. Prat. 1996. Habilitación agrícola de los tepetates de los Valles de México y de Tlaxcala. *In:* El campo mexicano: una modernización a marchas forzadas. P. Bovin (Ed.). CEMCA-ORSTOM. México. p 253-291.

Navarro G., H., y Ma. A. Pérez. 1993. Productividad, sistemas y desarrollo tecnológico en tepetate. Colegio de Postgraduados-ORSTOM, Montecillo, México. 64 p.

Navarro H. y C. Zebrowski. 1994. La réhabilitation agricole des sols volcaniques indurés et érodés en Equateur et au Mexique. In: Transaction of the 15th World congress of soil science, Acapulco, México. Vol 6a, p. 592-610.

Palerm, A. 1980. Antropología y Marxismo, CIS- INAH, Editorial Nueva Imagen, México.

Prat C., Ly B-T, I. Lepigeon, G. Faugère y J-L. Alexandre 1997. Los sistemas agropecuarios de producción en tepetates, en cuatro comunidades del altiplano mexicano. In: Zebrowski et al. (Eds), Actas del Tercer Simposio Internacional sobre Suelos Volcánicos Endurecidos. 6-12. ORSTOM, Quito, Ecuador. p 482-491.

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.

Robichaux, D. 1985. Estructura, Organización y Economía del Grupo Doméstico en una comunidad de Tlaxcala: un enfoque diacrónico, Tesis de Maestría, Universidad Iberoamericana, México.

Steward, J. 1963. Theory of Culture Change, The Methodology of Multiliner Evolution, University of Illinois Press.

Toledo V., M. 1994. Ecología y Modernización Campesina, en Agricultura Campesina, Martínez Saldaña. Compilador, Colegio de Postgraduados, México.

Urquidi V., L. y J., B. Morelos. 1979. Crecimiento de la Población y Cambio Agrario, El Colegio de México, México.

-------. 1993. Planificacion Regional y Reforma Agraria, Universidad Iberoamericana, Editorial Gernika, México.

APORTES CIENTIFICOS PARA LA PROBLEMATICA AGROECOLOGICA DE LOS TEPETATES

Alcances del estudio: Diagénesis, Pedogénesis y Morfogénesis de capas cementadas...127

David Flores, Alma Velazquez y Otilio Acevedo

Diagnóstico nutrimental y pérdida de nutrientes...133

Andrea Vera ,Ulrich Fetcher , Gerd Werner, Jorge Etchevers y Hortensia Brito

Características físicas, potencial hidrológico y producción de sedimentos...142

Pedro Rivera, José Luis Oropeza, Maria Alcala, Gustavo Flores, Ulrich Fetcher José Salalzar y Donaldo Rios

Protocolos agronómicos y alternativas de manejo...157

Primo Muñoz , Ulrich Fecher, Tehozol Ixtlapala, Dionicio Benitez, Hermilio Navarro, Diego Flores y Antoria Pérez

ESTUDIOS DE LOS TEPETATES EN LA UNAM

David Flores R.

Introducción

El estudio de los tepetates en el Departamento de Edafología del Instituto de Geología de la UNAM, queda comprendido en el proyecto titulado "Diagénesis, pedogénesis y morfogénesis de capas cementadas del Cuaternario I. Provincia Eje Neovolcanico del estado de Morelos".

¿Porque la línea de investigación se inició en el estado de Morelos? Con base en los estudios de Flores y colaboradores (1993, 1997) se indica la presencia de tepetates en una franja altitudinal que va desde los 1500 a los 2000 msnm, ocupando una superficie de hasta 65,000 ha. En esta franja quedan comprendidos 11 de los 32 municipios del estado, donde se conjugan abundancia y diversidad de tepetates.
El interés por los tepetates nació en el instituto de Geología debido a la necesidad de relacionar aún más los suelos con la geología, dada la estrecha relación de los procesos pedogenéticos con los diagenéticos.

Por otra parte, si consideramos la importancia de los suelos de origen volcánico en el eje Neovolcànico, transecto de la República Mexicana donde se ubica la mayor parte de la población y de las actividades humanas del país, los tepetates adquieren más relevancia.

Objetivos

Caracterización morfológica y determinación de las principales propiedades de los suelos y materiales endurecidos;
Plantear hipótesis y generar información sobre génesis;
Experimentar metodologías en los materiales endurecidos, sobre su fragmentación, agregación, tendientes a la formación de suelo y favorecer el establecimiento de las plantas;
Formación de recursos humanos;

Áreas de Estudio

El área de estudio es el estado de Morelos, en la franja altitudinal citada, se ha trabajado y concluido en estudios morfogenéticos de fragipanes y duripanes (Flores *et al.*, 1993, 1997) en las zonas de Yacapixtla-Cuautlixco y Cuernavaca-Santa Catarina-Tepoztlan. También estan en proceso estudios morfogenéticos en las zonas de Tetela del Volcán, Cuernavaca Buenavista del Monte y Atlatlahuacan-Totolapan-Tlayacapan-Oaxtepec.
Así mismo, en la zona de Tetela del Volcán se ha concluido trabajo experimental a nivel invernadero con tepetates fracturados y especies vegetales anuales y perennes (Velázquez y Flores 1995, 1996 y 1997).

Los Grupos Taxonómicos de los suelos relacionados con los materiales endurecidos citados son: con fragipanes las unidades Cambiosol eútrico y Phaeozem háplico; con duripanes las unidades; Luvisol, Phaeozem, Andisol, Regosol y Vertisol. Así mismo, la mayor parte de los sitios de muestreo se encontraban de mediana a fuertemente perturbados, principalmente para incorporarlos a las actividades agrícolas o pecuarias.
Actualmente en el mismo estado de Morelos, en Tetela del Volcán, está en proceso un estudio experimental al nivel de campo.
Dicho estudio está enfocado al análisis de la modificación de las características físicas y químicas de un tepetate fracturado, mediante el cultivo de especies frutícolas y forrajes, como una alternativa para

la rehabilitación y aprovechamiento de la zona en las que el material se encuentra expuesto. Tetela del Volcán es considerado como uno de los municipios con mayor riesgo de incrento de la problemática asociada al afloramiento de los tepetates.
En la zona, la actividad económica principal es la fruticultura, destacando el cultivo de higuera, durazno y aguacate.

Los protocolos se establecieron a nivel de invernadero y campo, se utilizó tepetate fracturado, con especies de *Ficus carica L.* y *Chloris gayana Kunt.*
La evaluación fue sobre la influencia de cada uno de los factores en la dinámica e intensidad del fenómeno de fragmentación-agregación.
Se realizó el seguimiento de la transformación de la materia orgánica hasta compuestos capaces de actuar como agente de unión entre la fracción mineral. Se definió el grado y tipo de participación de los diferentes compuestos orgánicos e inorgánicos en la formación de agregados a partir del tepetate, con el propósito de evaluar la relación entre los agentes de unión presentes y la estabilidad de los agregados formados.

Otra área en estudio, se encuentra en el Estado de México, en la zona Tepotzotlán-Villa Nicolás Romero, en la cual se realizan estudios morfogenéticos y experimentales a nivel de invernadero con: tepetate fracturado, abonos orgánicos y especies vegetales.
En el estudio morfogenético se estudiaron siete perfiles con materiales endurecidos, se caracterizaron morfogenéticamente y se determinaron sus propiedades características físicas, químicas, hidrológicas,mineralógicas y petrograficas.
Se detectaron dos tipos de tepetates amarillos y blancos, ambos de origen igneo reciente, que presentaron poca alteración, principalmente en el blanco. Las unidades de suelo que a estos tepetates son: Luvisol, Cambisol, Regosol, Vertisol y Phaeozem.
Los sitios de muestreo se realizaron en áreas con perturbación fuerte.

Los productos de ésta investigación se han publicado parcialmente (Acevedo y Flores, 1996).

A nivel de invernadero se trabajó con dos tipos de tepetates amarillo y blanco, los cuales se fracturaron manualmente y se colocaron en macetas de plástico sin perforación.
Simultáneamente se adiciono estiércol de bovino y de gallina. Las especies vegetales seleccionadas fueron: pasto Rhodes, huaje rojo y guayaba. Una vez establecido el experimento se aplicó la solución nutritiva de Hoagland en los tratamientos que lo requerían.
El experimento se evaluó en dos etapas: las primera a los seis meses, y la segunda a los doce meses. Una vez terminado en el ensayo se tomó de cada maceta una muestra representativa de 200g del material y se realizó el análisis de agregados.
Se aplicó un diseño experimental pentafactorial, con arreglo de los tratamientos completamente al azar y tres repeticiones, con un total de 288 unidades experimentales. Los factores estudiados fueron: especies vegetales, tipos de tepetate, solución nutritiva, estiércol y período de corte.

Los resultados de este experimento se han publicado parcialmente (Acevedo y Flores, 1995 y 1997).

La más reciente área en estudio se encuentra en los limites del Distrito Federal y el Estado de México, con la investigación: "Edafogénesis y Alternativa de Rehabilitación de la Sierra de Guadalupe".
Actualmente la Sierra de Guadalupe presenta condiciones naturales alteradas por la presencia de usos inconvenientes o por el mal manejo de los recursos naturales, que requieren de acciones para restablecer en lo posible su situación original.
Existe una gran presión debido al crecimiento desordenado de la mancha urbana, lo que ha provocado una degradación de los recursos: agua, suelo, flora y fauna. Siendo alarmante que casi no haya estudios que sirvan de base en la elaboración de los programas de conservación y preservación de los recursos naturales que aun existen en la zona.

Este proyecto tiene como propósito, aportar información básica y aplicada del estado que guardan los suelos, considerando que se desconocen los procesos y factores que han influido en su formación y degradación.
El propósito es que sean considerados en los programas de manejo de esta importante zona y contribuir al conocimiento y factible restablecimiento de los edafo-ecosistemas existentes.

Entre los objetivos específicos que se están llevando a cabo se encuentran: a) determinar las propiedades físicas, químicas, mecánicas, hidrológicas, mineralógicas y petrograficas de los suelos y capas endurecidas "Tepetates", para conocer los procesos que han influido en su formación y degradación; b) determinar y clasificar los suelos y las capas endurecidas, con base en Soil Taxonomy, 1994 y FAO-UNESCO, 1992; c) estimar la edad y plantear hipótesis en relación a la génesis de los suelos y capas endurecidas; d) Integrar toda la información que se genera durante el desarrollo de esta investigación a un Sistema de Información Geográfica, que sirva de base para un ordenamiento ecológico del territorio, y en la elaboración del programa de manejo de la zona y, e). plantear alternativas de manejo para los suelos en función de la capacidad de uso de los mismos, con el propósito de conservar y mejorar el recurso edáfico mediante el desplazamiento de los usos que propician un mayor deterioro ambiental.

Bibliografía

Acevedo, S.O. y D. Flores, 1995. Efectos de dos fuentes de materia orgánica y solución nutritiva en el rendimiento de materia seca de *Leucaena esculenta* y *Chloris gayana* en dos tipos de tepetate en condiciones de invernadero. Simposio Universitario de Edafología, Facultad de Ciencias, UNAM. Memoria p; 133-134.

Acevedo, S. O. y D. Flores, 1997. Especies de efectos vegetales en la agregación y disgregación en dos tipos de tepetate del estado de México. Tercer Simposio Internacional sobre Suclos Volcánico Endurecido, Quito, Ecuador. Memoria p; 178-184.

Acevedo, S. O. y D. Flores, 1997. Caracterización morfogenética de tepetates blancos de origen volcánico. XXVIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Villahermosa, Tabasco. Memoria p: 7.

Flores, D, M.J. Alcalá, V.A. González y C.J. Gama, 1993. Suelos con fragipan de origen volcánico en clima semicálido y subhúmedo- el caso del noroeste del estado de Morelos, México. Rev. del Inst. de Geología, UNAM. Vol. 10 Núm 2p: 151-153.

Flores-D., M.J. Alcalá, V.A. González y C.J. Gama, 1997. Duripans in subtropical and subhumid climat of the trane-Mexico volcanic belt. Revista Mexicana de Ciencias Geológicas. Vol. 13. Núm.2p: 228-239.

Velázquez R.A.S., S. O. Acevedo y D. Flores, 1995. Efectos de diferentes cultivos sobre la disgregación y agregación de tepetates del estdo de Morelos en condiciones de Invernadero. Simposio Universitario de Edafologia, Facultad de Ciencias, UNAM, Memoria p:131-132.

Velázquez R.A.S., S. O. Acevedo y D. Flores, 1997. Formación de agregados estables a partir de un duripan del estado de Morelos, México por parte de especies vegetales perennes en condiciones de invernadero. Tercer Simposio internacional sobre Suelo Volcánico Endurecidos, Quito, Ecuador. Memoria p: 170-177.

Velázquez R.A.S., S. O. Acevedo y D. Flores, 1997. Agregación en tepetate fracturado por efecto de especies arbóreas. XXVIII Congreso de la Ciencia del Suelo. Villahermosa, Tabasco. Memoria p:20.

Zebrowski C., 1992. Los suelos volcanicos endurecidos de América Latina. Terra 10 Núm. Esp. Suelos Volcanicos Endurecidos: p. 15-23.

FORMACION DE AGREGADOS ESTABLES DE UN TEPETATE CON ESPECIES VEGETALES PERENNES.

Alma Velázquez R.. y David Flores R.

Introducción.- El duripán es un tepetate con un alto contenido de sílice, estructura masiva y bajo contenido de nitrógeno, fósforo y materia orgánica, que ocasionan numerosos problemas desde el punto de vista agrícola, pecuario y forestal.
Para la incorporación de los tepetates a la producción es importante promover la formación de agregados estables en húmedo (AEH), condición necesaria para lograr la estructuración del suelo.
Los agregados deben ser suficientemente estables para mantener las características del espacio poroso aun con los cambios bruscos de humedad y de labranza, ya que de ello depende la distribución del agua y del aire. La estabilidad de los agregados depende de la fuerza que mantienen unidas a las partículas y agregados entre sí.
Las plantas son consideradas como uno de los principales factores que influyen a los agregados estables, debido a que el sistema radical actúa directamente sobre el sustrato y es el principal responsable de los cambios que ocurren a nivel de la rizósfera.

Los objetivos.- El estudio se enfocó al análisis de la formación de agregados estables en húmedo a partir de un duripán fracturado, por introducción de diferentes especies vegetales perennes.

Metodología.- Para evaluar y analizar la tendencia de los cambios ocurridos por influencia de las especies vegetales, se estableció un ensayo en invernadero con seis especies vegetales perennes: *Causarían equisetifolia L., Eucalyptus globulus labiell., Schinus molle L., Chloris gayana, Kunt., Sorghum almum Parodi, y Vicia sativa, L.*, en dos niveles de fracturación del tepetate: uno fino, constituido por fragmentos menores de 2 mm y uno grueso, por fragmentos de 2 a 20 mm, durante tres períodos de observación: seis, doce y dieciocho meses. El porcentaje de agregados estables en húmedo se evaluó mediante el método de Kaúrichev. El diseño experimental fue trifactorial con distribución de los tratamientos completamente al azar y tres repeticiones. Para el análisis de los resultados se utilizó un análisis de varianza y la prueba de comparación de medias Tukey.

Los resultados y discusión.- Los datos mostraron la presencia de procesos de alteración en el tepetate, tales como la desintegración y reorganización del material en agregados estables, como consecuencia de fenómenos fisicoquímicos y, principalmente, de la influencia de las especies vegetales.
Dicha influencia se manifestó como un incremento en el contenido de materia orgánica, que permite la existencia de compuestos capaces de actuar como enlace entre las unidades e incrementar su estabilidad.
Intervino también el efecto de empaquetamiento ejercido por el sistema radical sobre el sustrato, que mantiene las características del espacio poroso al separar las unidades existentes y aumentar la cohesión entre aquellas recién formadas.

Así mismo, se observó que en el nivel de fracturación grueso se incrementó la velocidad de alteración de los fragmentos, incrementándose con ello la estabilidad de los agregados. Los fragmentos agregados de 2 a 5 mm fueron los que presentaron mayor estabilidad en húmedo, por lo que pueden constituir un nivel agronómicamente importante para el manejo de los tepetates.

Las especies con mayor influencia sobre el tepetate fueron las arbóreas y el pasto Rhodes En general, la estabilidad de los agregados fue directamente proporcional al tiempo de permanencia de las especies vegetales sobre el tepetate.

EFECTO DE ESPECIES VEGETALES EN LA AGREGACION Y DISGREGACION EN DOS TIPOS DE TEPETATES

Otilio Acevedo S. y David Flores R.

Introducción.- Las capas endurecidas o tepetates representan un serio problemas en las zonas agrícolas, ya que limitan el desarrollo de especies vegetales presentándose una baja producción y ocasionando el abandono de estas áreas.
En los últimos años se están llevando a cabo proyectos de recuperación de estas áreas por parte de diferentes Instituciones Educativas y Gubernamentales, en su caso específico en el Instituto de Geología de la UNAM se desarrollan investigaciones enfocadas a evaluar el efecto de especies vegetales en la agregación y disgregación de tepetates fracturados.

El objetivo.- Estimar el efecto que tienen las especies vegetales en la fragmentación y agregación del tepetate, con el fin de recuperarlos e incorporarlos al proceso productivo.

Metodología.- La investigación se realizó en condiciones de invernadero, se evaluaron dos tipos de tepetate: blanco y amarillo, que fueron recolectados en el estado de México.
Ambos materiales se fracturaron y se pasaron a través de una malla de 12 mm, reteniéndose en una de 2 mm; el resto se descartó.
Los fragmentos colectados se colocaron en macetas con capacidad de 6 Kg sin perforación. Simultáneamente se adicionó estiércol de bovino y de gallina en cantidad equivalente a 50 t/ha. Las especies utilizadas fueron: pasto Rhodes (*Chloris gayana Kunth.*); huaje rojo (*Leucaena esculeta* M et Sex A DC. Benth) y guayaba (*Psidium guajava* L. var. China). Las evaluaciones se realizaron: a los 6 meses y la segunda a los doce meses.

Resultados y discusión.- Los resultados muestran que las tres especies vegetales tienen la capacidad de formar agregados mayores de 12 mm, para lo cual: el pasto Rhodes sobresale significativamente, a los 12 meses, en el tepetate blanco cuando se le adicionó estiércol de gallina y solución nutritiva. En tepetate amarillo es la guayaba que mostró incrementos del número de agregados mayores de 12mm, en los primeros 6 meses, al adicionarle estiércol de gallina y solución nutritiva. No obstante, este porcentaje disminuyó a los 12 meses.
La formación de microagregados en el tepetate blanco se ve favorecida por el pasto Rhodes, cuando se le adicionó únicamente solución nutritiva, en importancia decreciente se encuentra el huaje rojo. La guayaba no produjó diferencias significativas entre los tratamientos. En el tepetate amarillo, la mayor microagregación se presentó en guayaba cuando se adicionó estiércol de gallina, manteniéndose este incremento en ambas fechas de evaluación.

La guayaba promovió la agregación en el primer semestre, lo cual se atribuyó a los mecanismos de aclimatación del sistema radical, a condiciones desfavorables de suelo, por su rusticidad y habito de crecimiento radical. El pasto Rhodes promovió en ambos tepetates, un incremento en el porcentaje de agregados directamente proporcional al tiempo. El huaje rojo no respondió como se esperaba.

La influencia que presentan las especies vegetales en la agregación y disgregación de los tepetates puede considerarse como una función de la actividad de su sistema radical, densidad y continuidad de la superficie cubierta; además del tipo y contenido de materia orgánica, y de la biota del suelo. La materia orgánica, además de ser la principal fuente de nutrimientos para las plantas y biota edáfica, influye en la estructuración del tepetate a través de su efecto sobre los procesos de agregación. En el presente estudio, el estiércol de gallina favoreció una mayor agregación que el estiércol de bovino, para ambos tipos de tepetate.

MORFOLOGIA Y MICROANALISIS DE LOS CEMENTANTES ENDURECIDOS

Otilio Acevedo S. y David Flores R.

Introduccción.- El estudio del endurecimiento de las capas cementadas en el eje Neovolcànico ha despertado gran interés en los investigadores desde hace más de una década.
Se ha cuestionado si este endurecimiento se ha dado por origen volcánico o pedogenético, o por ambos procesos.

Objetivo.- Determinar el origen y morfología de las capas endurecidas (tepetates), de la Sierra de Tepotzotlá,n en el estado de México.

Metodología.- Elaboración de laminas delgadas de las capas endurecidas, las cuales fueron observadas al microscopio electrónico de barrido y al microscopio petrográfico.
Se analizó la composición química del cementante por un sistema de energía dispersora de rayos X (microsonda).

Los resultados y discusión.- Los datos mostraron que se trata de tobas vítreas compuestas principalmente de plagioclásas, vidrio volcánico y ferrocristales típicos de materiales de naturaleza riolítica-dacítica.

En general, los minerales primarios presentan formas angulares, es decir poco grado de alteración, lo que indica que se trata de materiales de reciente deposito (plioceno-pleistoceno), y a la baja agresividad de las condiciones climáticas que prevalecen en la zona.

El vidrio volcánico presenta moderado grado de alteración, observándose formas subangulares, es decir se da el proceso de devitrificación, liberándose ácido ortosilícico que es absorbido en la superficie de las arcillas (haloisita 7 A), que revisten los minerales primarios.
En la temporada seca se favorece el endurecimiento de estos materiales, debido a la formación de una película silicica (solidificación).
Al analizar químicamente esta película por microsonda se obtiene que el óxido de silicio predomina (78-91% de SiO^2) lo que confirma que el cementante es de composición silícica.

PERDIDA DE NUTRIENTES POR EROSION EN UN TEPETATE REHABILITADO, EN EL BLOQUE TLAXCALA

Andrea. Vera R,, Ulrich Fetchter E. y Gerd. Werner

Introducción

La agricultura en Tlaxcala se caracteriza por una limitada superficie de suelo agrícola (2.5 habitantes/ha) en zonas rurales que en gran parte se encuentra en zonas tepetatosas, muchas de éstas degradadas como producto de: factores sociales, (crecimiento de la población, demanda creciente de alimentos, sobrepastoreo y manejo inadecuado del suelo) además de factores naturales como pendientes pronunciadas y lluvias torrenciales que se traducen en erosión hídrica. Resultando en pérdidas de agua, de suelo y como consecuencia de nutrientes, lo que tiene como efecto la disminución de la fertilidad del suelo y la contaminación de acuíferos fuera de las cuencas. Por esta razón es necesario cuantificar el daño que está causando la erosión hídrica en áreas tepetatosas

Objetivo

Hacer un balance de nutrientes en un tepetate rehabilitado, cultivado con diferentes manejos del cultivo maíz para prever consecuencias agroecológicas

Materiales y métodos

La evaluación de la erosión y pérdida de nutrientes se hizo en un tepetate rehabilitado (t3) de 7 años en el ciclo de 1995. Las parcelas usadas fueron de aproximadamente 1200 m2 con una profundidad de rehabilitación de 45 cm. Se compararon 3 diferentes manejos de maíz: a) labranza tradicional (LT), b) Labranza reducida sin cobertura vegetal (LRscv) y labranza reducida con cobertura vegetal (LRccv). Se analizaron 9 eventos de lluvias que fueron los que causaron alrededor de 60% de la erosión total en 1995: se obtuvieron muestras de afluente y de sedimentó erodado de cada evento, que fueron analizadas por los métodos convencionales. Además se colectaron muestras de suelo al inicio, a la mitad y al fin de la temporada. Los cationes intercambiables (Ca, Mg, Na y K) se determinaron en extracto de acetato de amonio (1N, pH 7). El P se extrajo en solución de bicarbonato de sodio (0.5M, pH 8.5), el pH y Conductividad eléctrica (H_2O, $CaCl_2$, KCl).

Cuadro 1. Descripción de las parcelas de escurrimiento

Tratamiento		Area	Clave
1 Tepetate desnudo	ningún manejo	$6m^2$	TC
2 Tepetate rehabilitado sin vegetación	aradura y tres veces control de malezas con herbicida	$44m^2$	TCR/sv
3 Tepetate rehabilitado con vegetación, cultivo de maíz tradicional	aradura, surcado, siembra de maíz cruzando la pendiente con pala, dos aporques	$44m^2$	TCR/cv
4 Tepetate rehabilitado,labranza tradicional, cultivo de maíz	aradura, surcado, siembra de maíz en surcos con pala, un aporque	$1200\ m^2$	LT
5 Tepetate rehabilitado, labranza reducida sin cobertura vegetal, cultivo de maíz	aradura, siembra de maíz directa con coa, control de maleza con herbicida	$1200\ m^2$	LRscv
6 Tepetate rehabilitado, labranza reducida con cobertura vegetal, cultivo de maíz con *Trifolium repens*, spp. enano	aradura, control de maleza con herbicida, siembra de trébol al voleo, rastra niveladora, siembra de maíz directa con coa	$1500\ m^2$	LRccv

Nota: la pendiente de los lotes 1 a 3 fue de 9%

Resultados

Descripción general del régimen pluvial y su erosividad

El régimen pluvial es típico, mostrando dos intervaios de baja precipitación en mayo y a fines de julio (sequía interestival) El mes de agosto es el mes con mayor precipitación, Cuadro 2.

En el Cuadro 3 se puede observar claramente que el afluente de Lrscv sobrepasa al de los otros tratamientos. El menor afluente se observa en Lrccv y en términos medios el LT. Lrscv muestra la mayor perdida de suelo, mientras que en Lrccv se registra la menor (2.3 t/ha.)

Llama la atención el hecho que el 11 de agosto de 1995 LT tiene la mayor pérdida del suelo con 0.7 t/ha y 16 mm de afluente, dato que se acerca mucho al de la pérdida de LRscv.
En esta fecha, las zonas de re-sedimentación ya han sido rellenadas y esto podría explicar el aumento relativo de pérdida de suelo en LT. A partir de esa fecha, se observa que, de los tres tratamientos, LRccv muestra la menor pérdida de suelo, mostrando en su plenitud el efecto de la cobertura vegetal reduciendo el afluente y la pérdida de suelo.

La misma relación entre los parámetros del 11 de agosto se observa el 3 de septiembre, pero un nivel menor EI30 (=20 N/h) observado en esa ocasión.

Cuadro 2. Régimen erosivo y erosividad de los eventos de mayor erosión (>3 mm de afluente) del año 1995 y 1996 en Santiago Tlalpan, Estado de Tlaxcala.

Fecha	lluvia	Duración	130	ECT	EI30
	mm	Min	mm/h	KJ/m^2	N/h
4/07/95	37.8	350	47.6	0.9	42.76
12/07/95	20.6	860	15.5	0.4	6.0
6/08/95	18.6	535	14.5	0.4	5.4
11/08/95	28.2	280	26.7	0.7	17.5
12/08/95	23.0	280	11.8	0.5	5.4
16/08/95	17.5	135	19.4	0.4	7.9
21/08/95	18.5	327	8.9	0.3	3.0
2/09/95	9.6	31	19.1	0.2	4.3
3/09/95	23.1	55	34.0	0.6	21.2
1995	602			8.3	196
22/07/96	43.56	383	60.54	1.08	65.4
19/08/96	11.00	74	15.2	0.27	4.03
29/08/96	11.4	43	22.4	0.28	6.25
31/08/96	22.2	131	26.3	0.54	14.25
16/09/96	13.5	153	20.8	0.31	6.46
23/09/96	18.5	102	22.5	0.41	9.32
14/10/96	14.5	88	18.6	0.32	5.92
1996	607			12.7	219

Cuadro 3. Análisis de la erosión hídrica y pérdida de fósforo de los principales eventos erosivos en Tlalpan en 1995 y 1996 (maíz con labranza reducida sin cobertura y con cobertura vegetal en un tepetate rehabilitado)

Fecha	EI30	afluente			pérdida de suelo			Pérdida de P		
		←----------m----------→			←-------t/ha-------→			←--------kg/ha-----→		
	N/h	LRscv	LT	LRccv	LRscv	LT	LRccv	LRscv	LT	LRccv
4/7/95	42.76	26.9	12.4	12.8	0.73	0.37	0.67	13	14	1
12/7/95	5.95	3.7	1	2	0.32		0.15	2		
6/8/95	5.37	3.8	2.6	1.2	0.06	0.01	0.2	1		
11/8/95	17.52	20.8	15.8	10.5	0.65	0.74	0.41	5	6	13
12/8/95	5.42	12.8	7.7	4.8	0.35	0.21	0.12	4	4	8
16/8/95	7.92	13.4	6.7	4.5	0.05	0.17	0.18	1	<1	4
21/8/95	3	4.3	2.7	0.9	0.00	0.29	0.1	1		
2/9/95	4.34	3.7	1.2	1	0.04	0.00	0.3	1		
3/9/95	21.24	16.1	5.9	4.9	0.25	0.22	0.12	6	2	5

LT= labranza tradicional
LRscv= labranza reducida sin cobertura vegetal
LRccv= Labranza reducida con cobertura vegetal

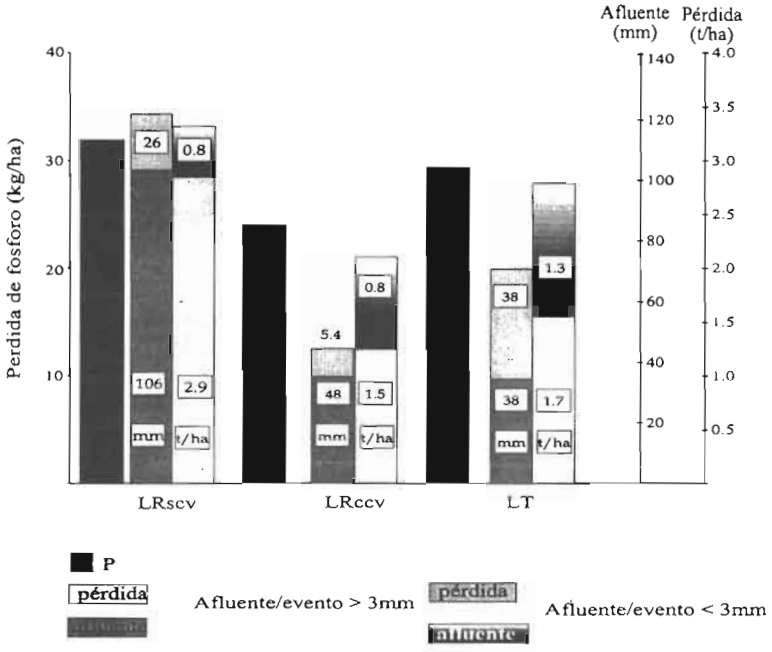


Figura 1. Pérdida de fósforo en afluente de un tepetate rehabilitado, Tlaxcala ,1995

Cuadro 4. Composición química y textural de la pérdida de suelo en parcelas de tipo Wischmeier en 1995 (completo) y 1996 (parcial)

Pérdida de material	Ca	Mg	Na	K	P Bray	pH	CE
t/ha	←----meg/100 g-----→				ppm	H_2O	mmho/cm
Tepetate descubierto							
17.3	9.6	4.5	2.2	2.1	5.3	8.01	0.320
	15	4.8	1.5			7.97	0.196
Tepetate rehabilitado sin cobertura vegetal							
66.6	7.0	7.4	0.9	1.7	9.9	7.62	0.262
	10.8	6.9	1.3	1.5	10.12	7.93	0.19
Tepetate rehabilitado con cobertura vegetal (44 m^2)							
1.1	9.8	4.9	1.7	2.1	34.0	7.49	n.d.
	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	30.69	7.93	n.d.

n.d = no terminado

En el Cuadro 4 se presenta la composición química y textural del suelo en parcelas de tipo Wischmeier donde destaca la pérdida de 66.6 t/ha de material en tepetate rehabilitado.

Conclusiones

*En la zona de contacto entre el horizonte rehabilitado y el horizonte endurecido hay una acumulación de bases.
*La pérdida de los nutrientes por afluente no esta correlacionado con la pérdida de suelo.
*El suelo perdido es más rico en nutrientes que el suelo de las parcelas de escurrimiento
*La principal base que se perdió fue el potasio
*El nivel de pérdida de base y fósforo es relativamente baja
*El año 1995, se considera un año muy poco erosivo por lo que no nos permite extrapolar los valores absolutos
*El año1996 presentó la misma cantidad de lluvia pero, mayor erosividad que 1995

LEVANTAMIENTO NUTRIMENTAL DE LOS TEPETATES EN EL ORIENTE DEL ESTADO DE MEXICO

Jorge Etchevers B. y Hortensia Brito V.

Introducción.

El 10% de la falda noroccidental de la Sierra Nevada, que tiene una superficie del orden de las 125,000 ha, son tepetates aflorados o en proceso de afloración.
Los tepetates no recuperados son suelos de escasa fertilidad, pero no existe un sustento formal que permita cuantificar dicha aseveración, esto es no se conocen las frecuencias con que se presentan las diversas clases de fertilidad. Esta información es importante para reducir como abordar la resolución de los problemas nutrimentales que exhiben estos materiales (Tisdale, *et al., 1985*).
La escasa disponibilidad de nutrimentos es una situación que debe ser corregida cuando se aspira a obtener rendimientos cercanos a los máximos posibles que se pueden alcanzar en un tepetate. La técnica del levantamiento nutrimental es una herramienta de diagnóstico que permite obtener la información deseada (Etchevers, *et al., 1985)*.

Objetivo

Realizar un levantamiento nutrimental de los tepetates ubicados entre 19°15′ de LN de la falda noroccidental de la Sierra Nevada del Estado de México.

Materiales y métodos

Se construyó un mapa y se midió la superficie ocupada por tepetates con la propuesta de series hecha por Peña y Zebrowski: (1992) contemplando 4 grupos de tepetates.
I) Tepetates desarrollados a partir de brechas sedimentarías volcánicas (sin $CaCO_3$). Son materiales piroclásticos duros, los cuales se consolidaron al momento de depositarse desde terciario hasta el cuaternario medio. Se localizan al Este de Texcoco y particularmente en las vertientes más pronunciadas del piedemonte.
II) Tepetates T2 con y sin $CaCO_3$. Son más duros que aquéllos que le sobreyacen, son materiales de varios aportes de piroclastos, con edad aproximada de 10,200 años, se localizan sobre el piedemonte occidental de la sierra, presentan un color gris y blanco.
III) Tepetates T3 con y sin $CaCO_3$. Son materiales de flujos piroclásticos. Se encuentran en las partes bajas y secas de los piedemontes. El color pardo a rojizo, y tiene una edad aproximada de 21,630 años.
IV) Tepetates Ti con $CaCO_3$. Generalmente friables y a veces ligeramente endurecido, consiste de materiales transportados por el viento. Se encuentran sobre los piedemontes orientados al Noroeste. Se caracterizan por su color amarillo, la edad se ubica entre 12,000 y 126,000 años.
Para la obtención de las muestras se dividió el mapa 1:50,000 en cuadrículas de 5x5 cm (25 ha), y aleatoriamente se seleccionaron los sitios de muestreo. En cada sitio se tomaron de 10 a 15 submuestras (0-20 cm), para formar una muestra compuesta. Los análisis químico fueron realizados de acuerdo con Etchevers, (1988).

Resultados

En el Cuadro 1 se muestran los principales características químicas de los tepetates de la falda noroccidental del estado de México.

Cuadro 1. Principales características químicas asociadas con la fertilidad de los tepetates

Micronutrientes en tepetates aflorados en el Estado de México														
Parámetros	pH	CE	$CaCO_3$	Mo	Nt	K	Ca	Mg	Na	P	Fe	Cu	Zn	Mn
			%			cM/kg^{-1}				ppm				
T2 con carbonato														
X	7.8	0.21	5.8	0.49	0.04	1.2	19.6	10.8	1.0	3.2	4.0	0.6	0.5	8.0
S	2.1	0.22	2.5	0.19	0.01	0.5	11.9	4.0	4.0	1.5	0.8		0.3	4.7
R	1.2	0.33	6.0	0.66	0.03	1.2	34.5	11.4	2.7	1.0	5.4		1.0	14.0
T2 sin carbonato														
X	7.6	0.20	5.2	0.43	0.04	1.2	19.6	10.8	1.0	3.2	4.0	0.6	0.5	8.0
S	2.0	0.14	1.5	0.15	0.01	0.5	11.9	4.0	4.0	1.5	0.8		0.3	4.7
R	1.4	0.32	3.0	0.27	0.03	1.2	34.5	11.4	2.7	1.0	5.4		1.0	14.0
T3 con carbonato														
X	8.0	0.20	5.8	0.41	0.03	0.8	13.1	10.6	1.4	4.0	7.0	0.6	1.0	8.0
S	1.9	0.17	2.4	0.16	0.01	0.8	4.6	3.6	0.8	1.7	5.0	0.3	0.4	4.5
R	1.8	0.32	6.1	0.47	0.03	1.3	11.1	10.1	1.8	1.4	15.2		1.4	10.4
T3 sin carbono														
X	8.0	0.20	5.8	0.41	0.03	0.7	13.2	9.1	1.2	4.0	6.0	0.6	1.0	10.0
S	1.9	0.17	2.4	0.16	0.01	0.6	4.6	3.2	0.7	1.7	2.1	0.2	0.3	4.3
R	1.8	0.32	6.1	0.47	0.02	1.2	8.05	5.5	1.6	1.4	3.8	0.4	0.8	9.0
Ti sin carbonato														
X	8.1	0.13	7.1	0.41	0.04	1.2	33.3	11.2	0.8	3.2	3.0	0.6	0.5	5.0
S	2.1	0.04	2.6	0.14	0.01	0.6	19.2	3.5	0.4	1.8	1.9	0.2	0.2	3.5
R	1.2	0.06	7.6	0.26	0.03	1.6	29.8	7.6	1.2	0.4	3.8	0.4	0.4	13.8
Brecha														
X	8.0	0.08	3.9	0.37	0.04	1.3	12.1	10.1	1.4	5	4.8	0.8	0.6	6.0
Tepetate agrícola														
X	7.2	0.14	5.3	1.9	1.0	1.17	10.8	7.0	0.49	8.5	8.0	1.0	0.65	12.5
S	0.9	0.15	2.3	0.56	0.05	0.23	9.5	1.12	0.21	2.7	1.17	0.37	0.31	10.0
R	2.2	0.41	6.1	1.6	0.12	0.62	22.8	2.4	0.55	8.0	3.0	1.0	0.8	24.0

Parámetros X= Media, S= desviación estándar, y R= rango

El pH de todas las series resultó ser alcalino (7.7-8.1), debido a la presencia de $CaCO_3$ libre (3.9 a 7.1%). La definición de las series en función del $CaCO_3$ propuesta por Peña y Zebrowski (1992) puede cambiarse, ya que todos los suelos poseen este material.

El elevado pH afecta principalmente la disponibilidad de micronutrimentos; los niveles de Fe y Zn extractable en DTPA se consideran particularmente bajos. La distribución por clases de fertilidad de éstos y otros elementos característicos se muestran en la Figura 1.

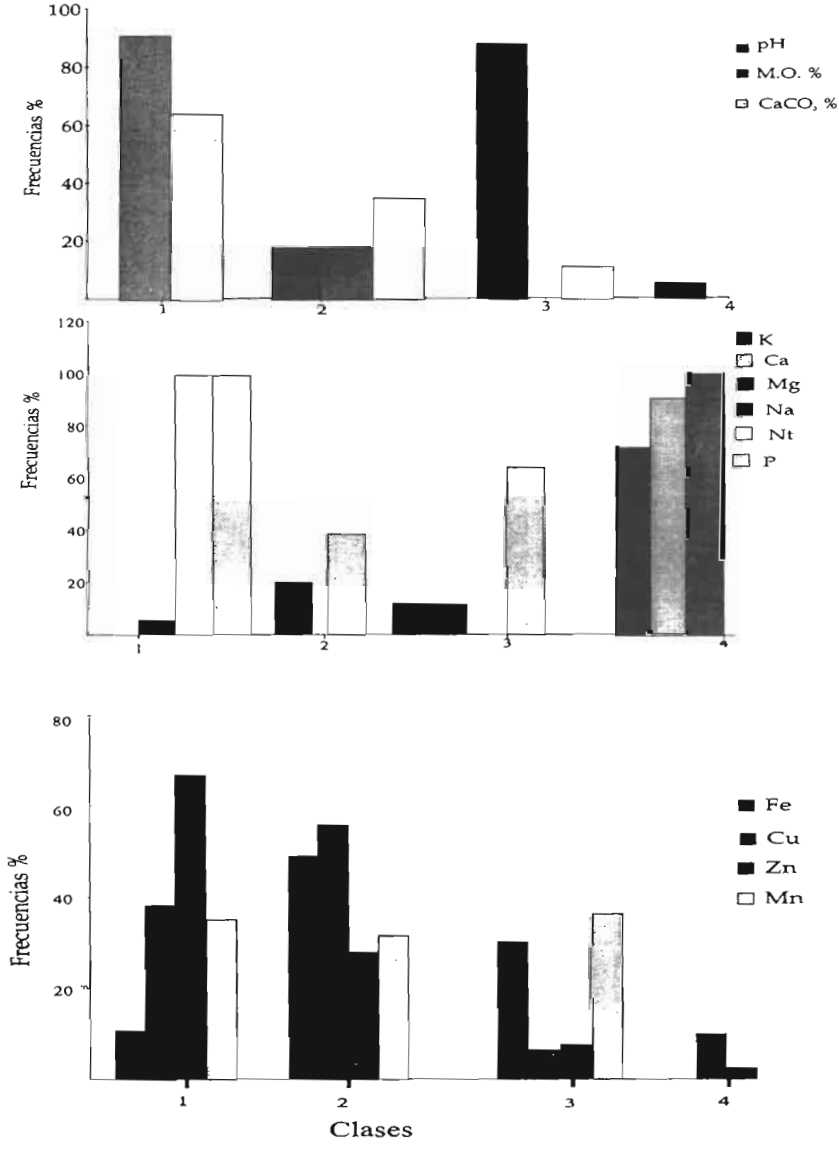


Figura 2. Clases de fertilidad en tepetates

El porcentaje de materia orgánica fue muy bajo en todos los tepetates, hecho que también se reflejó en los niveles de N total. El P extractable Olsen de las muestras se agrupan en las clases más bajas, denotando una escasa disponibilidad natural de este elemento. En contraste, las concentraciones, de K, Ca, y Mg intercambiables fueron altas y no deberían restringir el crecimiento de los cultivos. La relación Ca/Mg resultó relativamente estrecha, pero la Ca/K muy amplia. Este hecho no debería preocupar porque el Ca medido en estas circunstancias no es sólo el intercambiable, sino que el acetato de amonio disuelve algo del CaCO3 precipitado en el suelo. La CE y Na intercambiable de los tepetates no ofrecen ningún peligro para los cultivos básicos.

Conclusiones

Para que los tepetates aflorados puedan ser empleados como suelos agrícolas, es preciso que después de la rehabilitación se les eleve los niveles de P disponible, la materia orgánica y se les aplique nitrógeno en cantidades adecuadas. Esta es una característica de todas las series de tepetates estudiadas. El abastecimiento de micronutrientes para las plantas debe ser cuidadosamente observado porque, en general, sus concentraciones en los tepetates son bajas.

Bibliografía

Etchevers B., J. D. 1988. Análisis químico de suelos y plantas. Notas de clases. Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados, Montecillo, Edo de México.

Etchevers B., J. D., A. Trinidad S., Guerrero M, A. Pérez G., D. García L. y G. Morfín R. 1985. Levantamiento nutricional del maíz en la Sierra Tarasca de Michoacán. Agroc. 60:145-154.

Tisdale, S. L., W. L. Nelson y J D. Beaton. 1985. Soil fertility and fertilizers 4th E. MacMillan Pub. Co, New York.

Peña, H. D. y C. Zebrowski. 1992. Estudio de los suelos volcánicos endurecidos (tepetates), de la cuenca de México y Tlaxcala (México). CEE - ORSTOM. tS20212-C.

DETERMINACION DEL POTENCIAL HIDROLOGICO EN TEPETATES AMARILLOS TIPO T3 BAJO LLUVIA SIMULADA

Pedro Rivera R. y José Luis Oropeza M.

Introducción

Desde 1972 en el área de influencia de Chapingo Estado de México, se han realizado investigaciones en los tepetates encaminadas al estudio de la dinámica de la erosión hídrica, de sus propiedades físicas, de su fertilidad y de su reincorporación a la producción agrícola, pecuaria y forestal (Figueroa, 1975 y Rey, 1979). Sin embargo, desde este punto de vista y dado que se encuentra en áreas de temporal deficiente, nuestro interés particular tiene el propósito de estudiar el potencial hidrológico para lograr el máximo aprovechamiento del agua de lluvia. El potencial hidrológico se define como la habilidad que presenta un suelo para generar escurrimiento superficial, después de haber satisfecho sus características hidrológicas, tales como: almacenamiento superficial, retención, infiltración, movimiento del agua en el suelo, entre otras.

Objetivo

Determinar el potencial hidrológico del tepetate tipo T3 bajo tres manejos, mediante simulación de lluvia, a fin de contribuir al entendimiento de la capacidad de retención de agua y a la dinámica de la erosión hídrica en tepetates.

Materiales y métodos.

La investigación se realizó en el Campo Experimental de Tepetates del CP, ubicado en los terrenos comunales de San Miguel Tlaixpan, limitando con San Catarina del Monte, entre los meridianos 98°46´45" y 98°47´45" y los paralelos 19°29´00" y 19°30´30". Se utilizó un simulador de lluvias portátil, computarizado, programable Tipo III, mediante el cual se aplicaron dos intensidades de lluvias 40 y 60 mm/h a tiempos variables hasta que se detectaba un equilibrio en la tasa de escurrimiento. Se evaluaron tres tratamientos: tepetates naturales (TN, testigo), tepetates recién roturado (TRR) y tepetate incorporado (TI) con más de cinco de años en producción, se determinaron las características hidrológicas: escurrimiento (Q), infiltración (I), capacidad de retención de agua (0ms) y grado de saturación (0s) para determinar el potencial hidrológico y se asociaron con las pérdidas de suelo (E).

Resultados y discusión.

En el Cuadro 1, se presentan las características hidrológicas y la pérdida de suelo obtenidas en los tres tratamientos de tepetates T3 y dos intensidades de lluvia.

Cuadro 1. Características hidrológicas relacionadas con el potencial hidrológico y pérdida de suelo en tres tratamientos de tepetate T3 a dos intensidades de lluvias.

Tratamiento	P	I	Q	Coeficiente de escurrimiento	0ms	Os	E
	<----------mm--------		-->		%	%	(g/min)
TN40	34	6.2	27.8	0.82	31.2	43.5	152.8
TN60	25	5.0	20.0	0.80	31.2	23.5	227.2
TRR40	70	45.4	24.6	0.35	38.0	95.3	5.8
TRR60	66	24.7	31.3	0.56	38.0	94.9	27.0
TI40	30	12.9	17.1	0.57	32.2	52.4	62.8
TI60	30	5.8	24.2	0.81	32.2	64.1	272.8

La capacidad de retención de agua es mayor en el TRR en 22% más que en TN, y un 18% más que en TI. El TN llega a una saturación promedio de 33.5%, el TRR hasta un 95.1%. Lo anterior, indica que en el TN la entrada del agua dentro del perfil se dificulta, no siendo así en los otros tratamientos que presentan grados de saturación más altos. Esto por supuesto repercute en una mayor o menor capacidad de generar escurrimiento, y se observa que en el TN tiene la mayor lámina y coeficientes promedio de escurrimiento, y se observa que en el TN tiene las mayores láminas y coeficientes promedio de escurrimiento, le siguen el T1 y el TRR. Las pérdidas de suelo tienen el mismo comportamiento. El cambio más notable se observa en el TI debido a que la energía cinética de la lluvia provoca la formación de una "costra superficial" que facilita la generación de escurrimiento.

De acuerdo a Rawls et al. (1982) los TN presentan tasas de infiltración y escurrimiento que lo colocan entre los grupos hidrológicos C/D, de tal manera que su potencial hidrológico para generar escurrimiento es alto. El TI se comporta como suelo de grupo B hasta del C/D, por lo tanto el potencial hidrológico va de moderadamente bajo hasta moderadamente alto. Por último, el TRR entra en el grupo hidrológico B por su habilidad para generar escurrimiento.

Conclusiones.

El TN es el que presenta un mayor potencial hidrológico de acuerdo a la lámina de escurrimiento superficial, le sigue el TI y el TRR con un coeficiente de escurrimiento de >80, >70 y > 45 %.
Los tepetates cuando son roturados adecuadamente pueden almacenar hasta 350m3 de agua/ha en un evento de lluvia y de acuerdo al manejo que se proporcione, éste llega a almacenar de un 20% de total de lluvia en el tepetate natural hasta un 40 - 60% en tepetate roturado e incorporados a la agricultura.

Finalmente, que los tepetates T3 presentan altas tasas de erosión como consecuencia de un elevado coeficiente de escurrimiento, haciendo que sean altamente erosionables, como muchos autores ya lo han comprobado en su investigaciones. En una lluvia de 20 minutos se presenta tasas de erosión de 4.45, 3.88 y 0.49 t/ha en TN, TI y TRR respectivamente, de ahí la importancia de realizar un buen manejo para poder producir en este tipo de suelo.

Bibliografía

Figueroa, S. B 1975. Pérdidas de suelo y nutrientes y su relación con el uso del suelo en la cuenca del Río Texcoco. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. ENA. Chapingo, México.

Rawls, W. J. D. L. Brakensiek K. E. Saxton. 1982 Estimation of soil properties. Transactions of the American Society of Agricultural engineers. 25(5):1346-1320.

Rey, C. J. A. 1979. Estimación de la erodabilidad de los tepetates en la Cuenca del Río Texcoco Con base en el factor K Tesis de Maestría de Ciencias. Colegio de Posgraduados. Chapingo México.

POTENCIAL HIDROLOGICO Y LA PRODUCCION DE SEDIMENTOS DE UN TEPETATE DE LA CUENCA DEL RIO "LOS SAUCES", MICHOACAN

María Alcalá y José Luis Oropeza M..

Introducción

En México la escasez de terrenos planos, hacen que la zona montañosa, generalmente no apta para la agricultura sea el recurso principal de explotación agrícola de una población rural de más de 20 millones. Esto provoca cambios en el uso de suelo, dando pasó al deterioro de la cobertura vegetal, aumentando las superficies de erosión y las tasas de producción de sedimentos en un lote de tepetate no diferenciado cuya superficie tuvo materiales piroclástico pumíticos, lo que permitió conocer las relaciones entre la precipitación, el escurrimiento y la producción de sedimentos, para lo cual se recurrió al uso del simulador de lluvia.

Materiales y métodos

La ubicación del lote se localiza en la cuenca del río Los Sauces, municipio de Morelia Michoacán, México, entre los paralelos 19°47'54'' y 19°49'26'', latitud Norte y los meridianos 101°18'16'' y 101°20'10'', longitud Oeste. Pendiente de 5.71% y material parental, Ignimbrita.
Se marco un lote 7 m2, delimitado con lámina de asbesto al cual se le adaptó un vertedero metálico que permitió recoger el escurrimiento en un tinaco a partir del cual se midió el agua en litros por cada centímetro de altura. Se utilizo el simulador de lluvia de aspersión portátil III (Purdue), programable, desarrollado por la Universidad de Purdue de West Lafayette, Indiana, USA. El objetivo del simulador es la reproducción de la lluvia artificial con precisión y en forma repetida, cuyos efectos sobre la superficie del lote sean semejantes a la lluvia natural. Se aplicaron dos intensidades de lluvia, de 40mm h^{1} al estado seco del tepetate y 60mm h^{1} al húmedo. Se tomaron muestras de agua escurrida cada cinco minutos en botes de plástico de 1 L de capacidad; se pasaron por papel filtro y succionaron con aire al vacío para separar los sedimentos, se secaron 101°C y se pesaron.

Después de una lluvia simulada, el registro de la curva de volumen escurridos se reportó en la fusión del tiempo para designar el hidrograma de escurrimiento (Figura 1). Se Observaron cuatro fases dentro del análisis presentado por la altura Casenave y Valentín (1989): Imbibición (Fase 1) desde el inicio de la lluvia al tiempo ti, caracterizada por la altura de lluvia, infiltrada o almacenada en la superficie; Transición (Fase 2), inicia el escurrimiento en el tiempo ti y termina en TM; el hidrógeno tome forma de S alargada, disminuye la intensidad de infiltración y si todo los charcos desbordan, la superficie total participa en el escurrimiento permanente (Fase 3), el escurrimiento superficial llega a su máximo (constante), la intensidad de infiltración es mínima; Vaciado (Fase 4), cuando la lluvia termina al tiempo tu, el escurrimiento decrece justo al tiempo tf o desaparece.

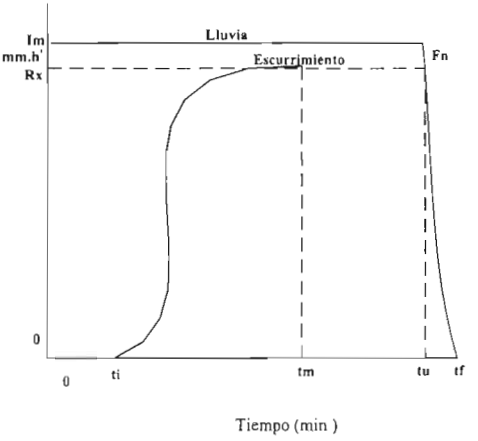


Figura 1. Hidrograma padrón de escurrimiento durante una lluvia simulada

Resultados y discusión

La intensidad de lluvia aplicada al estado inicial de humectación en el tepetate tiene efecto en la duración de cada evento de la simulación, hasta que el escurrimiento se presentó constante a través del tiempo, para 40mm h^{-1}, la duración de la lluvia fue de 41.77 min. y al aplicar 60mm h^{-1} al estar húmedo el tepetate, fue de 21.35 min. (Figura 2 y 3).

De la fase 1 dependió el momento del inicio del escurrimiento. La duración (4min) fue mas alta cuando el lote estuvo seco y la intensidad de lluvia menor (Figura 2), se redujo a 0.65 min. Al humectarse (Figura 3), justo cuando inició el escurrimiento. En la Fase 3 el tiempo de simulación duró tanto como se deseó, puesto que el escurrimiento y la infiltración se equilibraron.

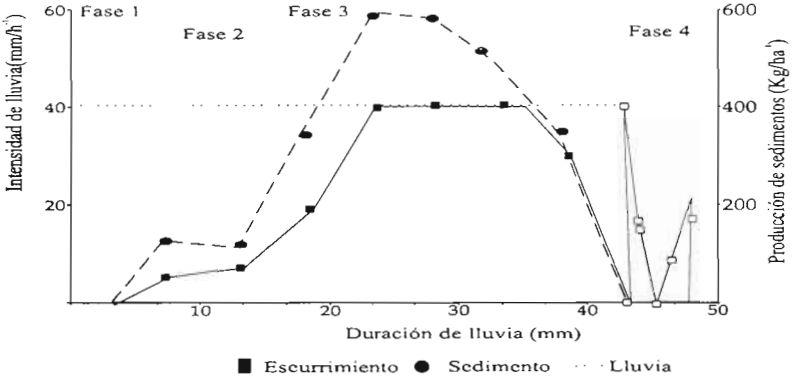


Figura 2. Hidrograma y producción de sedimentos en tepetate, estado seco.

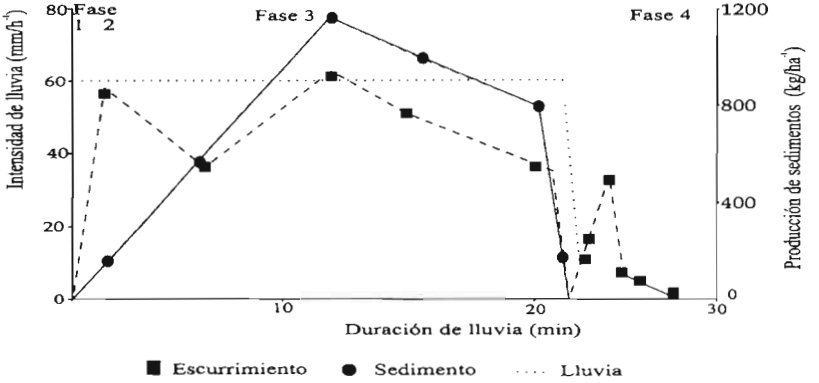


Figura 3. Hidrograma y producción de sedimentos en tepetate, estado húmedo.

Coeficiente de escurrimiento e infiltración

El coeficiente de infiltración fue mayor en el estado seco que húmedo (Figura 4), el primer caso se debió a que durante la Fase 1 el tepetate se estuvo saturando y requirió mayor lámina de agua; en el segundo, el tepetate ya saturó, por lo tanto, el coeficiente de infiltración fue menor y la capacidad de escurrimiento mayor.

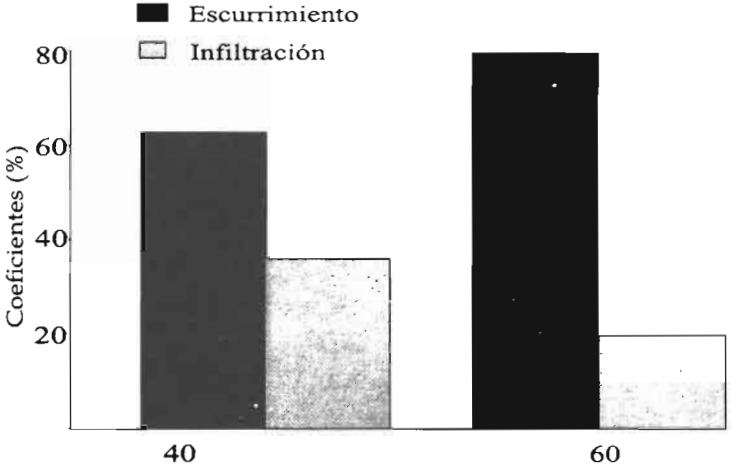


Figura 4. Coeficientes de escurrimiento e infiltración en tepetates, estado seco y húmedo.

Producción de sedimentos. La producción de sedimentos al estado seco fue proporcional a la intensidad de escurrimiento, excepto cuando inició la Fase 3, los sedimentos aumentaron hasta un máximo, luego descendieron hasta detener la lluvia (Figura 2). En húmedo, la intensidad de escurrimiento no presentó un régimen permanente y a pesar de esto, la producción de sedimentos fue proporcional con la intensidad a partir de los 6.35 min. de aplicación de lluvia (Figura 3). La intensidad de la lluvia y la producción de sedimentos (3894 kg. ha^{-1}) fueron mayores en el estado húmedo del tepetate que en el seco (2,402 $kg.ha^{-1}$), de tal forma que a mayor escurrimiento, la intensidad de lluvia fue más alta, removiendo con facilidad las partículas de tepetate.

Los fenómenos erosivos: escurrimiento y producción de sedimentos no son explicados por la cantidad de lluvia aplicada; se deduce que son las intensidades, la duración y el estado de la humedad inicial los que expresan la cantidad de lluvia escurrida, los coeficientes de escurrimiento y la producción de sedimentos.

Conclusiones

El tiempo y la lámina de agua aplicada en la simulación de lluvia aumentaron de acuerdo con la intensidad de lluvia y el estado húmedo del suelo. Existió una relación directa entre el volumen de agua escurrida y la producción de sedimentos. El máximo escurrimiento tanto en estado seco como en húmedo del suelo se dio al mismo tiempo que existió el máximo de producción de sedimentos, siendo mayor en el estado húmedo del suelo.

El Tepetate presentó poca capacidad de retención de agua y los factores favorables para que se diera el escurrimiento fueron la intensidad de la lluvia, el estado inicial de humectación en el suelo, la ausencia de cobertura vegetal, aunado a esto, la superficie endurecida del tepetate, por lo que se le consideró altamente erosionable.

Bibliografía

Casenave, A., Valentín, C. 1989. Principios y características del simulador de lluvias modelo ORSTOM-ASSELINE, en los estados de superficie de la zona sabélienne, influencia sobre la infiltración. Traducción al español de V.M. Reyes de ORSTOM. Coll. Didactiques. París Francia.

PROPIEDADES FISICAS DE SUELOS VOLCANICOS ENDURECIDOS (TEPETATES T3) DESPUES DE SU REHABILITACION EN TLAXCALA, MEXICO

G. Flores G. y Ulrich Fetchter E..

Introducción

En Tlaxcala se realizan rehabilitaciones de suelos volcánicos endurecidos llamados localmente tepetates para incrementar la superficie agrícola, sin embargo estos substratos han sido degradados por erosión hídrica en su mayor parte. Su potencial de producción es determinado por sus cualidades físicas y particularmente por la estructura que se desarrolla en este material después de la rehabilitación: para asegurar la sostenibilidad de las rehabilitaciones se tiene que monitoriar, evaluar, y al mismo tiempo desarrollar métodos de manejo adaptados a la situación ecológica y económica de los beneficiarios, la que ellos requieren parámetros adecuados que detecten oportunamente las deficiencias y necesidades de las rehabilitaciones.

Objetivo

Comparar diferentes tipos de labranza y sus efectos en la estructura del suelo.
Evaluar el estado físico del material rehabilitado después de diferentes años de roturación.

Materiales y métodos

Los estudios se realizaron en dos sitios en el Estado de Tlaxcala pertenecientes a tepetates rehabilitados tipo t3, cuyas características generales se compilan en el Cuadro 1
Descripción del material y parcelas de estudio.
Comparación de diferentes años de rehabilitación - San Andrés Cuamilpa, Tlaxcala.

Cuadro. 1: Descripción del material y parcelas de estudio

Comparación de diferentes años de rehabilitación -San Andrés Cuamilpan	
Tepetates rehabilitados	Tipo de suelo: Anthrosol; Textura: arena 60%, limo 26% y arcilla 14% (%) arena 60, limo 26, arcilla 14; M.O. 0.6 %, pH ($CaCl^2$) 6.1; profundidad del horizonte rehabilitado 30-45 cm; monocultivo de maíz LT
parcela 1	18 años de rehabilitación
parcela 2	19 años de rehabilitación
parcela 3	15 años de rehabilitación
parcela 4	7 años de rehabilitación
parcela 5	7 años de rehabilitación
parcela 6	14 años de rehabilitación

Tepetate desnudo Tipo de suelo: Chromic Cambisol con fase"duric"; Da 1.65 g/cm^3; Porosidad (%): Pg 9 Pm 10 Pf 16

Los parámetros que se observaron fueron los siguientes: porosidad con muestras no perturbadas y platillos de presión, conductividad hidráulica con permeametro de campo (Guelph), humedad volumétrica (por Time Domen Reflectometry), densidad aparente y estabilidad de agregados (EA) con el método de percolación (Becher y Kains, 1983).

Resultados

Comparación de labranza reducida versus labranza tradicional

La EA mostró las diferencias más significativas entre los tres tratamientos de todos los parámetros medios. Además de un aumento general en la estabilidad de agregados por la profundidad, observamos una estabilidad de agregados en los primeros 5 cm en el tratamiento LRccv y la menor estabilidad en la labranza tradicional (LT) en esta profundidad. Obviamente la cobertura vegetal produce un ambiente óptimo para los microorganismos que estabilizan la estructura del suelo con sus órganos y exudados.

En labranza reducida se observa en el segundo año un aumento significativo en la estabilidad de agregados con la profundidad, lo que interpretamos como un signo de recompactación por falta de labranza. Esto se observa también en el desarrollo radicular de maíz bajo este tratamiento el cual fue menor en profundidades mayores en el segundo año de labranza reducida sin cobertura vegetal.

La explicación podría estar en la naturaleza del mismo material, que es más endurecido que el material de Tlalpan. En la fracción del 1-2 y 2-3 mm encontramos una gran parte de fragmentos casi inalterados. Estos se originan de la rehabilitación, es decir del rompimiento de la matriz endurecida, y no son agregados clásicos, formados por la actividad edáfica y microbiológica. Estos fragmentos, expuestos a un régimen hídrico del suelo más húmedo después de la rehabilitación, pierden poco a poco su estabilidad y son trasformados primero a material fino y después a nuevos agregados. Este proceso naturalmente es más lento en materiales más endurecidos, por lo que en el sitio de Cuamilpa todavía nos enfrentamos con la primera fase, la debilitación de los fragmentos.

Los fragmentos en las parcelas de mayor edad ya perdieron parte de su estabilidad, pero todavía no están destruidos, mientras que en las parcelas de menor edad los fragmentos están casi inalterados. Esto aparenta una EA mayor en las parcelas con pocos años de rehabilitación, aunque es nada más reflejo del endurecimiento del material original.

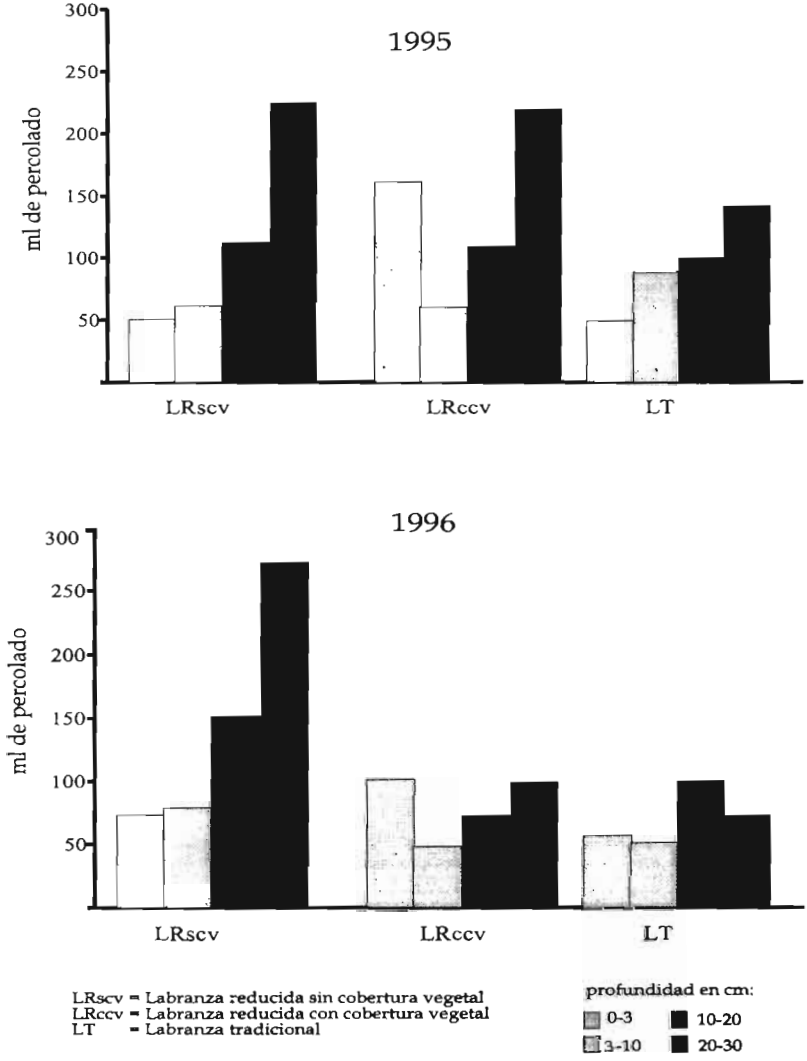


Figura 1 Estabilidad de agragados en tres diferentes sistemas de labranza de maíz en un tepetate rehabilitado

Comparación de diferentes años de rehabilitación

La estabilidad de agregados mostró, en contra de lo esperado, una reducción en las parcelas con mayor edad de rehabilitación.

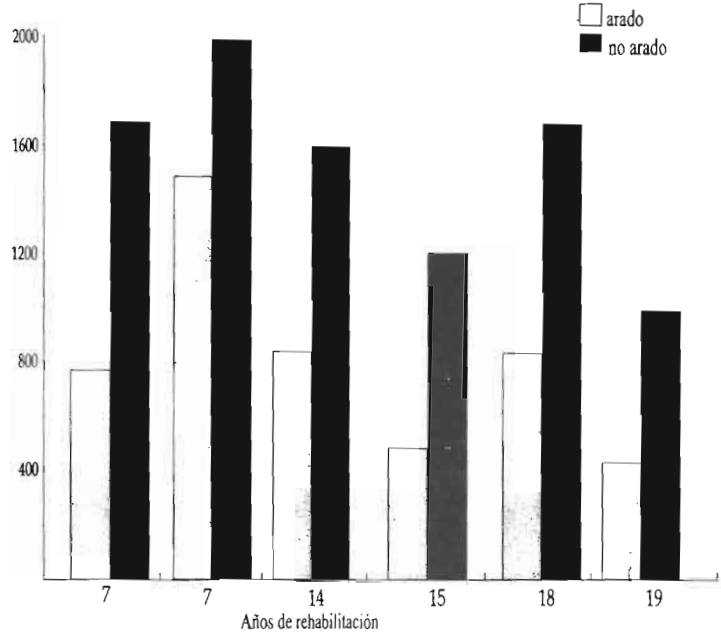


Figura 2 Estabilidad de agregados y/o fragmentos en tepetates con diferentes años de rehabilitación.

Naturalmente una EA provocada por fragmentos es menos deseable que una EA causada por agregados formados biológicamente. Esto nos indica que el sitio de Cuamilpa después de 20 años todavía no ha llegado al estado estructural que observamos ya en el sitio de Tlalpan después de 6 años.

Para la selección de tepetates a rehabilitar este aspecto debe jugar un papel importante, ya sea dando preferencia a materiales menos endurecidos para obtener una pronta estabilización estructural, o bien dando un tratamiento especial a materiales más endurecidos, lo cual provoca un costo mayor de recuperación.

Conclusiones

La utilización de cobertura vegetal favoreció la estabilidad de agregados en los primero 5 cm, lo que probablemente se debe a una mayor actividad microbiana.
En labranza reducida con cobertura vegetal en el segundo año se observó un incremento de la estabilidad de agregados en las dos primeros profundidades, probablemente debido a una compactación

La estabilidad de agregados disminuyó con la edad de la rehabilitación (esto es debido al debilitamiento sucesivo de los fragmentos, que quedan).
El parámetro de la estabilidad de agregados determinado por el método de percolación es un buen parámetro para detectar cambios estructurales a corto plazo en el horizonte rehabilitado.

SISTEMA INTEGRAL MODULAR PARA LA LECTURA DE PLUVIOGRAMAS Y LIMNIGRAMAS ESPECIALES (SIMPLES)

José Salazar L., José L. Oropeza M. y J. Donaldo Ríos B..

Introducción

Científicos e ingenieros de todo el mundo usan la computadora diariamente para apoyarse en el desarrollo de planes e hipótesis, realizar investigaciones diversas, toma de decisiones y control de sus actividades.
Una computadora es un sistema electrónico, rápido y exacto, capas de manipular símbolos; diseñando para aceptar datos a partir de diferentes dispositivos de entrada, procesarlos y producir salidas bajo la dirección de un programa de instrucciones almacenado en su memoria (1).
El programa SIMPLE (Sistema Integral Modular para la lectura de pluviogramas y limnigramas especiales) se generó como el objetivo de automatizar el procesamiento de pluviogramas y limnigramas.

Materiales y métodos

a) Obtención de gráficas. Los pluviogramas y limnigramas se obtuvieron de aparatos establecidos en el proyecto experimental Tepetate Reclamation, Using Erosión Prediction
Technology, para el estudio de tepetates en la estación experimental Santa Catarina del Monte, Estado de México
b) Selección del lenguaje de programación. Para este efecto se tomaron en cuenta parámetros de decisión tales como facilidad de programación y actualización a posterior; nivel de lenguaje a utilizar y su disponibilidad, entre otras (2)
c) Desarrollo del programa SIMPLE. En la etapa inicial se diseño el ambiente de trabajo del programa SIMPLE, utilizando para ello una computadora PC 486.

En una segunda etapa se implementaron los algoritmos de obtención, cálculo y procesamiento de datos a partir de la lectura digital de pluviograma y limnigramas.
La etapa final consistió en la puesta a prueba de SIMPLE, utilizando gráficas reales y cálculos manuales con datos de los años 1994, 1995 y 1996.

Resultados y discusión

La elaboración de SIMPLE ha sido la culminación de un proyecto que rebasa los objetivos aquí planeados; su fácil manejo y funcionamiento lo hace particularmente útil, Figura 1.

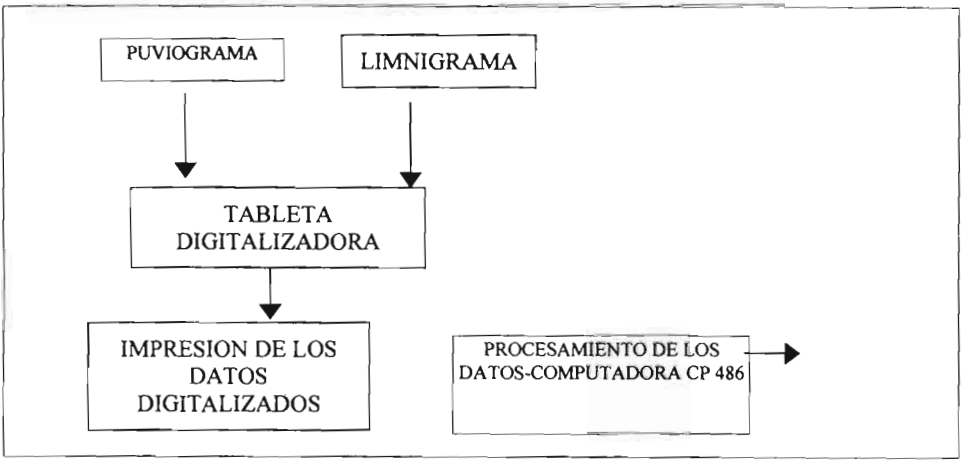


Figura 1 Diagrama funcional del Sistema SIMPLE.

SIMPLE cuenta con un ambiente de trabajo con base en submenús desplegables en cuadros de diálogo interactivos con el usuario, como se ilustra en la Figura 2.

Sistema Integral Modular para la lectura de Pluviográma y Limnigráma Especial				
Archivo	Edición Limnigráma	Balance	Imprimir	Pluiviográma Ayuda
	Abrir	F3		
	Nuevo	F2		
	Guardar			
	Guardar como			
	Dos Temporal			
	Salir	Alt-X		
F1Ayuda	Comando para el manejo de archivos			

Figura 2. Pantalla de menú principal del programa SIMPLE

Eligiendo la opción Pluviográma en la barra del menú principal se puede obtener datos en la pantalla y en copia dura como la que aparece en el Cuadro 1.

Cuadro 1 Salida típica de pluviograma mediante el programa SIMPLE

Hora Reg.	Pres Reg.	Duración	Cantidad	Intensidad	Log base 10	Energía Cinética	Energía Cin.Tol.
hr min	mm	min	mm	mm/hr	intens	Mj/hamm	Mj/ha
15.38	3.15	4	0.268	2.59	0.4678	0.1565	0.0268
15.42	3.38	4	0.231	3.41	0.5327	0.1655	0.0383
15.48	3.87	6	0.491	5.02	0.7008	0.1802	0.0885
15.54	4.00	6	0.13	1.29	0.1094	0.1286	0.0167
16.24	4.14	30	0.139	0.28	0.5520	0.0708	0.0099
16.36	10.0	12	6.029	29.63	1.4717	0.2475	1.4921
16.41	0.00	0	0.000	0.000	0.0000	0.0000	0.0000
16.44	2.09	3	2.094	42.82	1.6317	0.2614	0.5475
16.46	3.37	2	1.277	32.37	1.5102	0.2508	0.3203
16.52	4.35	6	0.982	9.88	0.9948	0.2059	0.2022
16.58	5.17	6	0.821	8.13	0.9099	0.1984	0.1628
17.02	5.40	4	0.222	3.12	0.4947	0.1622	0.0360
17.19	5.60	17	0.203	0.17	0.1511	0.1058	0.0215
Total		96	12.619				2.9358

130 22.52 mm/hr EI30 66.10 MJmm/ha hr Imax 42.82 mm/hr.

De manera similar a los pluviogramas, también es posible la lectura y procesamiento de limnigramas para fines de análisis de escurrimiento, en relación con la lluvia precipitada.

Conclusiones

Con SIMPLE, científicos, catedráticos y estudiantes podrán disponer de una potente herramienta para procesar pluviogramas y limnigramas.

* SIMPLE procesa grandes cantidades de datos con precisión y rapidez, mejora la calidad de la información y reduce al mínimo los errores humanos en el procesamiento de datos.

* Para garantizar que SIMPLE arroje resultados con fiables, la información a digitalizar debe provenir de pluviografos y limnigrafos bien calibrados y sin problemas de funcionamiento.

Bibliografía

Sanders,D.H. 1994. Informática, Presente y Futuro. Tercera Edición. Editorial McGraw Hill. México.
O'Brrien, Stephen. 1993. Turbo Pascal 7, Manual de Referencia. Editorial McGraw Hill. México, D.F.

El ENRAIZAMIENTO DE MAIZ BAJO DOS SISTEMAS DE LABRANZA DE CONSERVACION EN UN TEPETATE REHABILITADO EN TLAXCALA

Primo Muñoz T. y Ulrich. Fechter E.

Introducción

La degradación de los suelos volcánicos endurecidos, extendidos ampliamente en el antiplano mexicano, lleva a través de la erosión hídrica a un descubrimiento gradual del sub-horizonte endurecido y con ello, a una disminución del espació enraizable, de este modo se han perdido en el Estado de Tlaxcala (superficie total 401,600 ha) 57,000 ha de superficie agrícola y otros 16,000 ha se encuentran en peligro de degradación. A través de programas de rehabilitación se procura roturar este horizonte endurecido, y con ello obtener un espacio enraizable para el uso agrícola. Los tepetates rehabilitados están caracterizados por un bajo contenido de materia orgánica, con los efectos negativos para la fertilidad y la erodibilidad del suelo. En esta investigación se estudio, la relación entre la distribución especial del sistema radical y el sistema de labranza en maíz en un tepetate rehabilitado, junto con una cuantificación de la materia orgánica que aporta dicho cultivo a este suelo.

Objetivos

Analizar el comportamiento del sistema radical de maíz en tepetate rehabilitado.
Describir la distribución espacial de las raíces de maíz en tepetate rehabilitado

Materiales y métodos

El muestreo se realizó al momento de la floración femenina del cultivo (ago.95 y sept.96) en terrazas de 1300 m^2 en un tepetate café con 8 años de rehabilitación. Los tratamientos fueron los siguientes: maíz con labranza reducida sin cobertura vegetal (LRscv), maíz con labranza reducida con cobertura vegetal (LRccv) y labranza tradicional (LT).

Cada 10cm de profundidad se sacó una muestra de 250 cm^3 hasta llegar al horizonte endurecido subyacente. Estos perfiles se sacaron 5 veces en cada parcela con profundidad entre 0-20 cm y 0-60 cm. De esta muestra se determinó el peso seco y la longitud de raíces. Además se excavaron en cada tratamiento cuatro perfiles de pared para observar y el realizar un diagrama de la distribución espacial de las raíces con el método según Boehm, (1979), adaptado a las condiciones del lugar.

Resultados

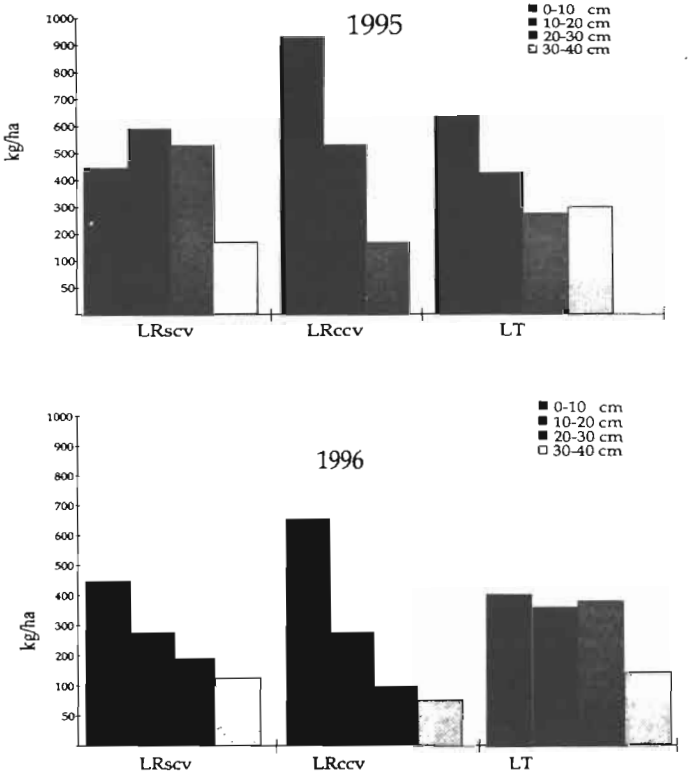
En el Cuadro 1 se muestra los aportes de materia orgánica que hacen las raíces 1 kg/ha en diferentes profundidades. Donde destaca que el máximo aporte se tiene entre las profundidades 10-20 y 20-30 cm siendo mayor en LRccv seguido de LRscv .

Cuadro 1 Distribución del sistema radical en un horizonte (tepetate T3) rehabilitado bajo diferentes sistemas de labranza en maíz

Aportación de materia orgánica por las raíces (Kg/ha) en diferentes profundidades						
Profundidad	LRscv		LRccv		LT	
Año	95	96	95	96	95	96
0-10	548	455	1544	648	651	404
10-20	695	284	639	258	456	357
20-30	625	191	278	118	367	393
30-40	271	130	n.d.	69	395	153
Longitud de raíces (Km/m2) en diferentes profundidades						
Profundidad (cm)	LRscv		LRccv		LT	
Año	95	96	95	96	95	96
0-10	5.5	5.1	10.4	6.8	6.4	2.5
10-20	5.8	1.6	6.5	1.4	4.1	2.4
20-30	5.4	1.3	3.5	0.9	3.7	1.9
30-40	2.8	0.7	2.3	1.2	3.5	1.0

LT= Labranza tradicional; LRscv = labranza reducida sin cobertura vegetal
LRccv= labranza reducida con cobertura vegetal

La longitud de las raíces presenta la misma tendencia siendo mayor en LRsccv seguida de LRscv y en el último lugar LT.



LRscv = Labranza reducida sin cobertura vegetal,
LRccv = Labranza reducida con cobertura vegetal, LT = Labranza tradicional

Figura 1. Aportación de materia orgánica por medio de las raíces en diferentes sistemas de labranza de maíz en un tepetate rehabilitado, 1995-1996.

Conclusiones

Hay un déficit considerable de materia orgánica en el cultivo de maíz.

Cobertura vegetal (Trifolium y malezas) aumenta la aportación de materia orgánica radicular únicamente en los primero 10 cm del horizonte rehabilitado.

La labranza tradicional mantiene la aportación de materia orgánica constante en los primeros 30 cm. Mientras que en labranza reducida la aportación de materia orgánica radicular disminuye casi lineal con la profundidad.

El cultivo de maíz no aprovechó en ningún tratamiento profundidades de rehabilitación mayores de 50 cm para el desarrollo de raíces.

En las rehabilitaciones mayores de 50 cm hay posibilidades de establecer cultivos intercalados con un enraizamiento a mayor profundidad.

La distribución espacial de raíces en labranza reducida es más homogénea que en labranza tradicional menos peligro de competencia interradicular.

MAIZ BAJO LABRANZA REDUCIDA EN SUELO VOLCANICO ENDURECIDO EFECTOS EN CRECIMIENTO Y RENDIMIENTO-

Tehózol Ixtlapale y Ulrich Fetchter E..

Introducción

En el estado de Tlaxcala, se rehabilitan continuamente suelos volcánicos endurecidos (tepetate T3) para uso agrícola. Por el régimen pluvial y la orografía en las zonas con este tipo de suelo, las rehabilitación de estos suelos son puestos en peligro por la erosión hídrica a causa del cultivo de maíz que es sembrado principalmente en estas zonas. Por tal motivo la conservación de suelos es necesaria utilizando métodos que reduzcan la erosión hídrica. Uno de ellos es labranza reducida, pero es importante considerar si el método utilizando para la conservación del suelo cumple con los objetivos del campesino: ¿es decir el método es productivo y rentable?

Objetivo

El objetivo de este estudio es evaluar y analizar la respuestas del maíz en un tepetate rehabilitado a dos formas de la labranza reducida, una con cobertura vegetal (LRccv) y otra sin cobertura vegetal (LRscv).

Materiales y métodos

Con el fin de estudiar el comportamiento del cultivo del maíz bajo labranza reducida en un tepetate rehabilitando (t3, después de seis años de rehabilitación) se diseño en tres terrazas de campesinos (1200, 1200 y 1500 m2), un ensayo mono-factorial con cinco repeticiones (bloques al azar de 10.4 m2). A cada terraza se asignó un método diferente de labranza, en el cuadro 1 están descritos los manejos de cada tratamiento.

La variedad de maíz utilizada fue ("criollo") de la región (nombrado "cañuelilla") La siembra se realizó el 2 de mayo de 1995, a una profundidad de 12 cm, una distancia entre surcos de 80 cm y una distancia entre matas de 50 cm y con tres granos de semillas por mata (población predeterminada igual a 45,000 plantas /ha). La humedad volumétrica se observó dos veces a la semana con un sistema- TRASE (Time-Domain-Reflectometry, Soil Moisture Equipment).

Cuadro 1 Descripción de tratamientos

Tratamiento	Clave	Descripción
Labranza tradicional	LT	Surcado (finales de Abril). Siembra del maíz con pala (principios de Mayo) Dos aporques
Labranza reducida sin cobertura vegetal	LRscv	Siembra del maíz con coa Aplicación de herbicida: Gesaprim (atrazina)
Labranza reducida con cobertura vegetal	LRccv	Siembra del maíz con coa Siembra de trébol al boleo Aplicación de herbicida: Banvel (dicamba)
En LT, LRscv y LRccv		Arado de discos Rastra de discos

Resultados

Germinación y establecimiento de la población

La germinación fue dispareja debido a la falta de humedad volumétrica desde la siembra hasta el 25 de mayo, la cual entre 8 y 15%. La germinación tardó hasta el 15 de junio. La población establecida a esta fecha varió entre 51,000 en LRscv, 54,000 en LRccv y 63,000 en LT. La germinación en LT empezó más tarde, resultando menos plantas muertas por sequía durante la etapa antes mencionada.

Crecimiento generativo

La floración masculina inició primero en LRccv a principios de agosto mientras que en el LT y LRscv empezó hasta la mitad de agosto. Por el contrario la floración femenina empezó primero en LT, luego en LRccv y se retrasó una semana en LRscv. Así se tenía un gran intervalo entre la floración masculina y femenina en LRRscv.

Desarrollo de elotes y mazorcas

En LT y LRccv tienen significativamente mayor número de elotes por planta en la primera fecha de registro mientras que en LRscv se observa un retraso, pero después alcanza a LT y LRccv, al final se observa que LRscv no alcanzo a desarrollar los jilotes a mazorcas a causa de los fuertes vientos que causaron el acame hasta en un 50% aproximadamente (Figura 2)

El cuadro 2 presenta los componentes del rendimiento de cada tratamiento. El rendimiento de 3.3 t/ha bajo labranza tradicional muestra el gran potencial productivo del tepetate rehabilitado. El promedio del rendimiento en la zona 8en la que predomina el maíz criollo) es de 2.7 t/ha.

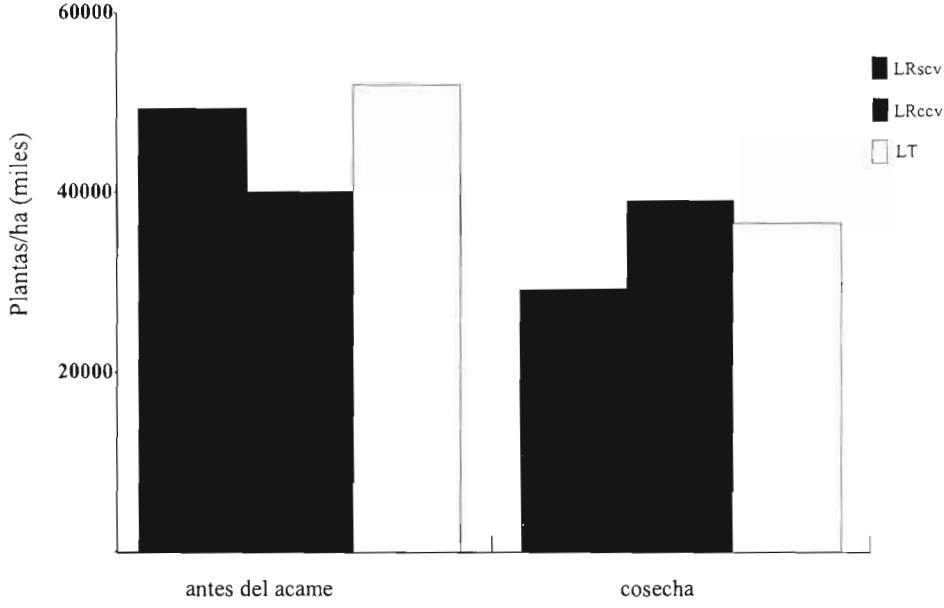


Figura 1. Variación de plantas – mazorcas por efecto del acame

Las dos LR tienen un rendimiento mucho menor, de alrededor de 2 t/ha. Por otro lado la producción de paja tiene características diferentes a la del grano: la mayor producción se observa en LRscv con 6.1 t/ha, muy cercana a la de LT (5.8 t/ha); la menor cantidad se produjo en LR con 4 t/ha. Ocasionando esta una gran diferencia en el índice de cosecha (IC) entre los tratamientos: 0.26 en LRscv y 0.34 en LT y LRccv.

La diferencia entre el testigo y los dos tratamientos de labranza reducida se debe al comportamiento de los diferentes componentes del rendimiento de los granos. Mientras que en LRscv el número de mazorcas /ha fue muy bajo (27,000) en LT y en LRccv se tuvieron 40,000 mazorcas/ha. Tal situación en LRscv se produjo aún cuando a mediados de agosto se registro en este tratamiento el mayor número de elotes, sin embargo el acame de las plantas provocó una pérdida sucesiva de plantas con mazorcas cosechables.

Cuadro 2 Componentes del rendimiento de maíz bajo labranza reducida en un tepetate (T3) rehabilitado 1995.

Tratamiento	LRscv		LRccv		LT		DMS
	prom.	%	prom.	%	prom.	%	5%
Producción de grano t/ha	2.06a	66	2.03a	65	3.10	100	0.58
Producción de paja t/ha	6.1a	104	4.0	68	5.9a	100	1.2
Indice de cosecha (IC)	0.26	74	0.34a	97	0.35a	100	0.048
No. de plantas con mazorcas t/ha	26.300	66	37,800a	95	39,800a	100	7.200
No. de mazorcas/planta	1.05a	103	1.10a	108	1.02	100	n.d.
Peso de mil gramos g	334a	103	293	90	324a	100	34
Altura a la floración cm	232	95	193	79	244	100	7
Grosor del tallo a 30 cm de altura cm	9.2	107	6.9	80	8.6	100	0.2
Grosor del tallo a 60 cm altura#	8.6	115	6	80	7.5	100	0.2

Nota: promedios asociados con la misma fila son estadísticamente iguales # Medición al momento de la floración masculina

Conclusiones

Factores principales que limitan el rendimiento en labranza reducida:
Falta de humedad durante el proceso de germinación
Falta de humedad durante la sequía interestival (principios).
Vientos fuertes (ocasionando acame del maíz)

Sugerencias para implementar labranza reducida en tepetates rehabilitados
Mayor profundidad de rehabilitación (>45cm)
Selección de variedades (no híbridas) de maíz con mayor
Resistencia al acame.

RENDIMIENTO DE LA ASOCIACION MAIZ-FRIJOL EN UN TEPETATE
(Segundo año de uso agrícola)

Dionisio Benítez Martínez y Hermilio Navarro G.

Introducción

Los tepetates en México son un recurso potencial para contrarrestar la escasez de tierras cultivables en el eje neovolcánico, dada la creciente presión demográfica en esa zona (Quantin et al., 1992). La rehabilitación de los tepetates desde el punto de vista agrícola es posible pese a la existencia de ciertas limitantes de la fertilidad como la carencia de materia orgánica, nitrógeno y fósforo, entre otros. El proceso de rehabilitación es largo, sin embargo, mediante un manejo adecuado, en el cual se incluyan prácticas como la aplicación de estiércol, la incorporación de abonos verdes, la aplicación de fertilizantes, así como el uso de rotaciones de cultivo y manejo apropiado de los residuos, este proceso puede acortarse. El objetivo de la presente investigación fue evaluar el efecto del cultivo y manejo precedente en el rendimiento de grano y algunos componentes agronómicos de la asociación maíz-frijol, en el segundo año de rehabilitación agrícola de un tepetate café.

Materiales y métodos

La presente investigación se lleva a cabo en la comunidad de Tlalpan, Tlaxcala en el ciclo 1992, en un tepetate roturado y terraceado en 1991 y cultivado durante el primer ciclo con policultivos, trigo y veza. El diseño empleado fue bloques incompletos al azar con seis repeticiones, los factores de estudio fueron tratamientos sin y con adición de materia orgánica el año anterior (0-40 ton/ha) de estiércol de bovino y cultivo precedente, conformado por a) maíz asociado con frijol y haba sin inoculación microbial b) maíz asociado con frijol y haba inoculados con endomicorriza (*Glomus* sp), *Azospirillum* sp, *Rhizobium leguminosarum* cv *phaseoli* y *vicia*), c) veza inoculada con *Rhizobium* sp, y d) trigo. Las variables evaluadas fueron número de mazorcas por metro cuadrado, número de granos por mazorca y por metro cuadrado, índice de cosecha, materia seca a la cosecha y rendimiento de grano, se realizó análisis de varianza y prueba de comparación de medias.

Resultados

En el Cuadro 1 se presentan los rendimientos de grano de frijol con y sin aplicación de materia orgánica y cultivo precedente. Los rendimientos obtenidos en todos los tratamientos fueron muy bajos debido a que en la segunda mitad de la temporada se presentó una gran incidencia de lluvias dañando seriamente este cultivo.

Cuadro 1. Efectos de la materia orgánica y del cultivo precedente en el rendimiento de frijol.

Factores de evaluación	Rendimiento (t/ha)
Con materia orgánica	0.14
Sin Materia orgánica	0.16
Cultivo precedente:	
Policultivo con inoculación	0.12
Policultivo sin inoculación	0.12
Veza	0.13
Trigo	0.21

El Cuadro 2 muestra los rendimientos y componentes agronómicos de maíz obtenidos en el tepetate con y sin la adición previa de materia orgánica. Esta tuvo un efecto residual significativo en todas las variables evaluadas, lo que pone de manifiesto la importancia de la aplicación de este material en cantidad suficiente para suplir la escasez nutrimental de los tepetates en proceso de rehabilitación. Los nutrimentos provenientes del estiércol aplicado el año anterior promovieron un buen crecimiento y desarrollo de las plantas de este cultivo, lo cual se tradujo en un mejor rendimiento de grano y mejores componentes agronómicos, en relación con aquellos tratamientos que no recibieron materia orgánica.

Cuadro 2. Rendimientos de grano y componentes agronómicos en maíz, con y sin aplicación de materia orgánica el año anterior en tepetate de segundo año de incorporación a la producción en Tlaxcala, México.

Variables	Materia orgánica[1]	
	Con	Sin
Rendimiento (t/ha)	3.53 a	2.52 b
Número de mazorcas por m^2	4.36 a	3.97 b
Número de granos por mazorca	279 a	253 b
Números de granos por m^2	1234 a	1024 b
Índice de cosecha	0.39 a	0.31 b
Materia seca (t/ha)	8.75 a	8.30 b

[1]Tukey (0.05)= valores con la misma literal en una misma línea son estadísticamente iguales.

En el Cuadro 3 se muestra el efecto del cultivo precedente en el rendimiento y componentes agronómicos del maíz. La veza como cultivo precedente promovió significativamente un mayor número de granos por mazorca e índice de cosecha, en comparación con los demás tratamientos.
Es probable que la aportación de materia orgánica y nitrógeno de la veza al tepetate, promovió mejores condiciones para que las plantas transformaran en mazorca con mayor eficiencia parte de su rendimiento biológico, de ahí la importancia del establecimiento de leguminosas en las primeras etapas de rehabilitación de estos substratos.

A pesar del escaso efecto de los cultivos precedentes en el rendimiento de grano, es digno de tomarse en cuenta su papel en el proceso de rehabilitación de este substrato por su aportación nutrimental a través de los residuos dejados en el terreno.

Cuadro 3. Rendimiento de grano y componentes agronómicos en maíz, según el tipo de cultivo precedente.

Variables	Cultivo precedente[1]			
	Policultivo			
	Con inoculación	Sin inoculación	Trigo	Veza
Rendimiento (ton/ha)	2.81 b	3.52 b	2.97 b	3.46 b
Número de mazorcas/m^2	3.97 b	4.34 b	4.34 b	4.13 b
Granos por mazorca	267 b	267 b	252 b	299 a
Granos por m^2	1089 b	1170 b	1118 b	1240 b
Índice de cosecha	0.34 b	0.32 b	0.37 b	0.38 a
Materia seca (ton/ha)	8.51 b	9.62 b	7.94 b	9.10 b

[1] Tukey(0.05)= valores con la misma literal en una misma línea son estadísticamente iguales.

En el Cuadro 4 se muestra el efecto de la interacción entre la materia orgánica y el cultivo precedente en los rendimientos de maíz. Tal interacción influyó en los rendimientos de grano y en los componentes de rendimiento en comparación con los tratamientos que no incluyeron adición de estiércol. Estos resultados ponen de manifiesto que entre mayor sea la cantidad de materia orgánica presente en los tepetates, mayor será la posibilidad de lograr una mejor producción de maíz o de algún otro cultivo. El hecho que de la veza como cultivo precedente permita generar valores más altos en los rendimientos y en algunos componentes agronómicos que no tuvieron materia orgánica, en relación con los demás tratamientos, se debe indudablemente al aporte nutrimental que realiza este cultivo al tepetate por tratarse de una leguminosa.

Cuadro 4. Rendimiento de grano y componentes en maíz al interactuar la materia orgánica y el precedente.

Variables	**Materia orgánica**	**Cultivo precedente[1]**			
		Policultivo			
		Con inoculación	**Sin inoculación**	**Trigo**	**Veza**
Rendimiento (t/ha)	Con	3.48 a	4.81a	3.37 a	3.41 a
	Sin	2.14 b	2.22 b	2.58 b	3.50 a
Número de mazorcas/m^2	Con	4.23 a	4.53 a	4.40 a	4.44 a
	Sin	3.17 a	4.15 a	4.27 a	3.82 a
Granos por mazorca	Con	298 a	302 a	267 a	261 b
	Sin	237 b	232 b	236 a	337 a
Granos por m^2	Con	1267 a	1361 a	1198 a	1197 a
	Sin	911 a	978 a	1038 a	1284 a
Índice de cosecha	Con	0.40 a	0.38 a	0.41 a	0.36 a
	Sin	0.27 b	0.27 b	0.34 b	0.39 a
Materia seca (t/ha)	Con	8.64 a	10.33 a	8.31 a	9.42 a
	Sin	8.39 a	8.92 a	7.74 a	8.78 a

[1] Tukey (0.05)= valores en una línea con la misma literal son estadísticamente iguales

Conclusiones.

Los mayores rendimientos de grano de maíz se obtuvieron en los sitios con aplicación inicial de 40 ton/ha de materia orgánica, lo que significa que existe un efecto residual de la misma. También se observaron rendimientos altos en los tratamientos con materia orgánica y policultivo inoculado y sin inocular, efecto similar presentaron las parcelas con cultivo previo trigo, lo cual se atribuye al aporte de nutrientes por los residuos del cultivo, ya que en todos los casos estos habían sido incorporados, observándose que los resultados logrados con esta práctica son similares a los obtenidos con leguminosa como cultivo previo.

El manejo previo del tepetate acrecentó la capacidad productiva de este substrato, la cual se reflejó en rendimientos muy superiores a la media regional. Para lograr resultados similares con el manejo tradicional, sin adición de estiércol, debe transcurrir un tiempo mayor.

Bibliografía

Quantín, P., Arias A., Etchevers J., Ferrera R., Oleschko K., Navarro H., Werner, G. y Zebrowski C. 1993. Tepetates de México. Caracterización y habilitación para la agricultura. TERRA 11. 72 P.

PROTOCOLOS EXPERIMENTALES PARA LA EVALUACION DE PRODUCTIVIDAD EN TEPETATES

Diego Flores S., Ma. Antonia Pérez y Hermilio Navarro G.

Introducción

En el marco del proyecto: Regeneración y Conservación de Suelos Volcánicos Endurecidos y Estériles de América Latina" y al interior de la línea de investigación de Agronomía, se planteó el interés por mejorar y validar el conocimiento experimental y agrícola regional sobre el aprovechamiento del tepetate o duripan, del tipo T3. Se consideró el conocimiento de las aptitudes de producción y de la dinámica durante su rehabilitación, mediante la evaluación de parámetros agronómicos, diseño, establecimiento y manejo de protocolos experimentales, y validación de resultados experimentales para mejorar las prácticas agrícolas regionales en el manejo de tepetates, se contempló la evaluación de varios factores entre los cuales están:
La respuesta del tepetate a las prácticas de cultivo generalizadas o potenciales para ser realizadas por los agricultores.
La evaluación de cultivos solos o asociados como nuevas alternativas de producción.
La evaluación de la productividad en función del manejo precedente de la parcela o bien del manejo rotacional.

Las metas de la investigación fuerón:

1/ Generar de recomendaciones técnicas, basadas en las prácticas agrícolas de los productores y su adecuación en protocolos experimentales desarrolladas en condiciones locales de producción.

2/ Disponer de elementos para diseñar, implementar y validar un modelo de producción y manejo del tepetate; basado en los resultados de las investigaciones realizadas tanto en Tlaxcala como en el Estado de México, que permita proponer sistemas de manejo alternativos o eficientitizar los ya existentes.

La investigación se llevó a cabo en ,Santiago Tlalpan, municipio de Hueyotlipan, localizada en el Poniente del estado de Tlaxcala.

Antecedentes

En Hueyotlipan, Tlaxcala se realizó de 1989-1990 la identificación y caracterización de las estrategias productivas que los agricultores realizaban en torno al uso y manejo del tepetate, considerando la interacción de la tecnología de producción y los aspectos económicos, por medio del análisis agronómico y económico de los sistemas locales de cultivo en los sistemas económicos familiares.
Navarro y Zebrowsky (1992) encontraron que en la recuperación del tepetate, la estrategia generalizada es iniciar el cultivo de este sustrato con cereales de grano pequeño, para finalizar el tercer año con el maíz asociado o mono-específico como dominante. En relación con el proceso productivo o itinerario técnico,

se encontró cierta tendencia a privilegiar al tepetate en algunos aspectos, como es la práctica del barbecho asociada con el rastreo, la realización de un segundo rastreo durante un período previo a la siembra y la aplicación poco generalizada de herbicida. (Navarro et al., 1995).

La productividad de los tepetates en la fase inicial de la rehabilitación es muy variable, la cual va de bajo a medio, atribuido básicamente al tipo de roturación, manejo de abonos orgánicos, fertilizantes y al tipo de cultivo. Lo anterior permitió determinar que existe una baja rentabilidad durante los primeros años de cultivo.

Investigación y experimentación agronómica

Los resultados encontrados con respecto a las estrategias productivas en el manejo del tepetate, sirvieron de base para el establecimiento del protocolo experimental en tepetate, considerando las limitantes propias de este sustrato, en el cual se ha determinado que presenta potencial agrícola, y que parte de la problemática es función del manejo, de ahí surgió el interés de contribuir en el mejoramiento de las prácticas de rehabilitación y la utilización de los tepetates en la agricultura, sin embargo resulta necesario diseñar un modelo agronómico alternativo de manejo de los tepetates, acorde a la potencialidad del mismo y a las necesidades locales de los productores.
La investigación se realizó en dos fases de 1991-1993 la primera y de 1994-1996 la segunda. Los trabajos se consolidaron con el apoyo financiero de la Comunidad Económica Europea, y la formación en México del Grupo Interdisciplinario Tepetates, conformado por investigadores del Colegio de Postgraduados, ORSTOM de Francia, Universidad de Giesen de Alemania y la Universidad Autónoma de Tlaxcala.

Los protocolos experimentales iniciaron en el ciclo primavera-verano de 1991 en la localidad de Santiago Tlalpan, Municipio de Hueyotlipan, Tlaxcala, en una terraza de sustrato tepetatoso de la serie estratigráfica T3, de color café. (En el cuadro 1 se presentan los factores evaluados).

Cuadro 1. Características de los protocolos experimentales Hueyotlipan, Tlaxcala, 1991-1996.

Año	Protocolo experimental	Edad	Cultivos	Factores de evaluación
1991	I	1	Asociación maíz-haba-frijol	
	II		Trigo	Dosis de fertilización: 00-60-00; 60-60-00, 120-60-00 Aporte de materia orgánica 0 y 40 t/ha. Inoculación de haba y frijol
	III		Veza	
1992	I	2	Asociación maíz-frijol	Efecto de cultivo precedente y materia orgánica
	II		Trigo	
	II	2	Asociación maíz-frijol	Caracterización de variedades criollas de maíz
1993	I	3	Asociación maíz-frijol	Efecto rotacional de cultivos y materia orgánica
	II		Trigo	
1994	I	4	Trigo	Materia orgánica y manejo rotacional
	II	4	Asociación Maíz-haba	Oportunidad de prácticas agrícolas: siembra, fertilización trifraccionada, etc Aporte de Materia orgánica (0 y 28 t/ha), manejo agronómico diferencial: -Fertilización trifraccionada (110-60-00)
1995	I	5	Asociación Maíz-haba	-Fertilización starter (15-60-00) -Inoculación (*Azospirrilum* en maíz, *Rhizobium* en haba) -Inoculación+ Fertilización starter -Testigo Aporte de materia orgánica (0 y 28 t/ha),
	II	5	Asociación Maíz-haba	Variedades criollas de maíz, manejo agronómico diferencial: -Fertilización (110-60-00) -Inoculación+fertilización starter (15-60-00)
1996	I	6	Haba	Parcela liberada, manejada por el agricultor

*Edad = años de uso agrícola del tepetate.

Metodología

La metodología consistió en la aplicación de encuestas, entrevistas dirigidas y seguimiento agronómicos de parcelas de agricultores. Para la evaluación de los protocolos experimentales se realizaron evaluaciones agronómicas de los cultivos en los cuales se tomaron y estimaron parámetros de productividad, de crecimiento y desarrollo, así mismo se realizaron seguimiento de humedad del suelo, evaluación de la fertilidad del tepetate y análisis químico del estado nutrimental de los cultivos.

En este trabajo se observarán solo algunos de estos aspectos dando énfasis en aspectos de productividad referentes al tepetate.

Ciclo 1 9 9 1

En el primer año de evaluación agronómica se encontró un efecto positivo y muy notorio de la materia orgánica en la producción de grano y materia seca total. La importancia de la materia orgánica radica en la constitución de reservas orgánicas en el tepetate y fuente esencial de N, elemento restrictivo por ser escaso en este sustrato (Cuadro 2), los tratamientos con la fórmula de fertilización 60-60-00 tendieron a ser sensiblemente similares a los rendimientos fertilizados con la dosis 120-60-00.

De las especies cultivadas, el trigo sobresalió en la producción de grano con rendimiento de 3.3 a 4.3 t/ha en la condición de materia orgánica. la variación existente fue función de la dosis de fertilización En los tratamiento donde no se aplicó materia orgánica el rendimiento fue de 1.4 a 3.5 ton/ha en la cual a mayor cantidad de N aplicada mayor rendimiento.

El comportamiento de la asociación se consideró regular, ya que de las tres especies se obtuvo producción aunque fueron bajas. No obstante, el haba fue el cultivo de mayor expresión productiva, reflejada en la producción de grano.

Los rendimientos obtenidos fueron de 0.57 a 0.57 ton/ha. bajo la condición de materia orgánica; Sin materia orgánica los rendimientos fluctuaron de 0.19 a 0.49 ton/ha.

La veza presentó buen potencial en la producción de materia seca total, perfilándose como un cultivo alternativo en el manejo inicial del tepetate con un rendimiento de biomasa de 2.8 ton/ha en su condición más restrictiva (sin aplicación de materia orgánica y sin fertilización nitrogenada 00-60-00), los rendimientos en los tratamientos con aplicación de materia orgánica y fórmula de fertilización 00-60-00 fueron de 5.6 t/ha.

Cuadro 2. Rendimiento de grano y biomasa (t/ha) de cultivos evaluados en el primer año de uso del tepetate, Hueyotlipan, 1991.

Cultivo	Materia orgánica	Dosis de fertilización		
		00-60-00	60-60-00	120-60-00
Maíz	Con	0.15	0.20	0.25
	Sin	0.01	0.03	0.03
Frijol	Con	0.10	0.16	0.15
	Sin	0.02	0.09	0.10
Haba	Con	0.57	0.56	0.77
	Sin	0.19	0.44	0.49
Trigo	Con	4.30	4.00	3.30
	Sin	1.40	2.60	3.05
Veza	Con	5.60	5.30	4.90
	Sin	2.80	4.70	4.30

Ciclo 1 9 9 2

En el cuadro 3 se presentan los resultados encontrados en el cultivo de maíz asociado con frijol, este último no fue evaluado debido a que se presentaron pudriciones radiculares ocasionadas por el exceso de humedad por las constantes lluvias. El rendimiento de maíz fue bueno, superando a la media regional que es de 1.82 t/ha. En los diferentes cultivos precedentes se tuvo un fuerte efecto positivo de la materia orgánica en la expresión del rendimiento de grano y del índice de cosecha el cual de acuerdo con Obrador, (1994) es de 0.39 para los maíces del altiplano mexicano.

Los materiales con tratamiento orgánico cumplen con esta característica presentando valores muy cercanos. Solo dos tratamientos presentaron IC inferior (0.27) ambos sin aplicación de materia orgánica. Los mayores rendimientos se obtuvieron en los precedentes asociación sin y con inoculación y con aporte de materia orgánica, mientras que sin materia orgánica, se determinó un mejor comportamiento cuando se tuvo veza como cultivo precedente, seguramente por el aporte de materia orgánica de los residuos.

Cuadro 3. Rendimiento de maíz bajo diferente cultivo precedente y niveles de materia orgánica, en el segundo año de uso agrícola del tepetate, Hueyotlipan, Tlaxcala, 1992.

Cultivos precedentes	Materia Orgánica	Rendimiento (t/ha)	Índice de cosecha
Asociación con	CON	3.48	0.40
inoculación	SIN	2.14	0.27
Asociación sin	CON	4.81	0.38
inoculación	SIN	2.22	0.27
Trigo	CON	3.37	0.41
	SIN	2.58	0.34
Veza	CON	3.41	0.36
	SIN	3.50	0.39

En el Cuadro 4 se presentan los resultados encontrados en la caracterización de las variedades criollas de maíz. El rendimiento encontrado fluctúa 1.90 a 2.46 t/ha, valores bastante aceptables para la zona. Las variedades presentaron una aptitud productiva diferente, expresada como rendimiento de grano, eficiencia reproductiva e índice de cosecha (IC); así mismo presentaron características varietales distintas, como fue precocidad y color de grano.

El IC solo en 2 maíces (blanco grande y negro) fueron cercanos al ideal. El maíz palomero grande, amarillo grande y amarillo chico presentaron valores de IC inferiores al ideal lo que significa que existieron restricciones para que se manifestara su potencial productivo.

Cuadro 4. Características agronómicas de variedades criollas de maíz locales, evaluadas en tepetate de segundo año de uso agrícola, Hueyotlipan, Tlaxcala, 1992.

Variedad	Rendimiento (t/ha)	IC	Eficiencia reproductiva	Color de grano	Precocidad
Blanco grande	2.46	0.43	94	Blanco	Tardío
Palomero grande	1.99	0.25	77	Blanco	Tardío
Amarillo grande	2.03	0.29	92	Amarillo	Precoz
Amarillo chico	1.90	0.31	86	Amarillo	Precoz
Negro	2.04	0.39	92	Negro	Precoz

La eficiencia reproductiva fue de 77 a 94%, presentando la mayor eficiencia el blanco grande, seguido por amarillo grande y negro.

Ciclo 1 9 9 3

Los resultados encontrados en el cultivo de trigo en el ciclo 1993 (Cuadro 5), muestran que la materia orgánica siguió siendo un factor positivo en la producción de biomasa y de grano. El cultivo precedente que presentó la mayor productividad agronómica fue trigo-asociación con aporte de materia orgánica. En las rotaciones sin materia orgánica el rendimiento de grano fue sensiblemente similar. No obstante, en la producción de biomasa, el diferencial tendió a ser mayor, sobresaliendo cuando se tuvo como precedente veza-asociación. Es notorio que los precedentes trigo-asociación y veza-asociación favorecieron el rendimiento y la producción de biomasa total del trigo.

Cuadro 5. Productividad de trigo bajo diferentes cultivos precedentes y dos niveles de materia orgánica, en el tercer año de uso agrícola de un tepetate.

Cultivos precedentes	Materia orgánica	Rendimiento (kg/ha)	Materia seca (kg/ha)	IC
Trigo-Asociación	Con	3885	14104	0.30
	Sin	3128	10438	0.34
Veza-Asociación	Con	3654	12025	0.34
	Sin	3175	11656	0.31
Trigo-Trigo	Con	3169	11804	0.31
	Sin	2956	9470	0.35

El año climático durante este ciclo se caracterizó por el establecimiento tardío y poco uniforme de las lluvias, lo cual afectó de manera significativa al cultivo de maíz; el frijol se vio aún más afectado por esta situación, lo que promovió una escasa producción de grano y biomasa, razón por la cual no se reporta. Los parámetros determinados en el maíz se presentan en el Cuadro 8.

En primer término, es notorio el efecto positivo que ejerció la aplicación de la materia orgánica en el primer año en las variables agronómicas. La rotación o cultivos precedentes veza-trigo con materia orgánica superó al resto de las rotaciones; la misma rotación pero sin materia orgánica presentó mayor productividad que las rotaciones bajo esta misma modalidad. Esto se atribuye a que la veza y trigo son cultivos de cobertera y presentan un mayor volumen radical que mejora las características del tepetate. Las asociaciones inoculadas en el primer año presentaron valores sensiblemente similares a las que no se inocularon, no obstante, en el precedente asociación-asociación sin materia orgánica el rendimiento de grano fue superior en un 35% al encontrado en el precedente asociacióni-asociación. En los cultivos precedentes que mostraron mayor productividad en este ciclo agrícola fue veza-trigo con y sin materia orgánica.

Cuadro 6. Rendimiento de maíz bajo diferentes cultivos precedentes y dos niveles de materia orgánica, en el tercer año de uso agrícola del tepetate, Hueyotlipan, Tlaxcala, 1993.

Cultivos precedentes	Materia Orgánica	Eficiencia reproductiva	Rendimiento	IC
		(%)	(kg/ha)	
Veza-trigo	Con	63	990 A	0.185
	Sin	57	938 A	0.164
Asociación I asociación	Con	68	959 A	0.205
	Sin	44	568 B	0.135
Asociación – asociación	Con	63	957 A	0.139
	Sin	63	876 A	0.160
Asociación I- trigo	Con	63	744 A	0.186
	Sin	49	643 B	0.147

Asociación I=Leguminosas de la asociación inoculadas.

Ciclo 1 9 9 4

En las diferentes rotaciones de cultivo evaluadas en el ciclo 94, los resultados de rendimiento, fueron superiores en la condición de materia orgánica, sin embargo, las diferencias detectadas fueron mínimas. El análisis estadístico determinó que el efecto de la materia orgánica dejó de ser significativo en el cuarto año. No obstante, la producción de materia seca en las rotaciones: A-A-A, V-T-A, V-A-T y T-T-T presentaron mayor diferencial en las dos condiciones de materia orgánica, siendo superior en la condición de materia orgánica. El índice de cosecha como parámetro de eficiencia productiva, en general no mostró un marcado diferencial en las diferentes rotaciones.

La mayor productividad de trigo se presentó cuando existieron como precedentes AI-A-A. Las rotaciones que presentaron mayor diferencia entre si fueron: A-A-A, con un diferencial del 16%, y la T-T-T con un 21%, siendo en ambos casos superior el rendimiento bajo la condición de materia orgánica. (Cuadro 7)

Cuadro 7. Productividad de trigo bajo diferentes cultivos precedentes y dos niveles de materia orgánica, en el cuarto año de uso agrícola del tepetate, Hueyotlipan, Tlaxcala, 1994.

Factores de evaluación		Rendimiento	Materia Seca Total	Indice de Cosecha
Cultivos precedentes	Materia orgánica.	←-------kg/ha--------→		
AI-A-A	Con	3979	12250	0.374
	Sin	4062	12438	0.376
AI-T-A	Con	3743	12232	0.386
	Sin	3570	12249	0.335
A-A-A	Con	3824	12348	0.354
	Sin	3213	9540	0.387
V-T-A	Con	3782	11721	0.370
	Sin	3534	9783	0.417
T-T-A	Con	3496	10300	0.398
	Sin	3183	11545	0.316
V-A-T	Con	2963	10209	0.327
	Sin	3050	9186	0.379
T-A-T	Con	3076	9820	0.355
	Sin	2916	9024	0.371
T-T-T	Con	3557	10657	0.403
	Sin	2821	8820C	0.366

AI=Asociación inoculada, A=Asociación, V=Veza, T=Trigo

Con relación a la asociación maíz-haba (Cuadro 9), la producción de biomasa y grano en el caso de maíz fue un buen resultado productivo, el cual se explicó en parte: por la fecha oportuna de siembra; Fertilización trifraccionada en tres aportes; y buena distribución de la precipitación cantidad suficiente, retraso en la presencia de heladas tempranas y un manejo relativamente adecuado del cultivo. Además la variedad criolla mostró un potencial favorable para la región, además de su aceptación comercial por ser de grano blanco. Sin embargo, en la variable eficiencia reproductiva solo el 81% de la población de maíz logró formar mazorca.

La productividad del haba se considera de regular a baja, el año climático fue menos favorable para esta especie, ya que se tuvieron problemas de acame, presencia de la enfermedad conocida como "mancha de chocolate" *(Botritys cinerea)*, lo cual ocasionó que se manchara alrededor del 20% del grano mermando la calidad. La producción total de la asociación fue cercana a las 4 toneladas son un claro indicador de la productividad agronómica de la asociación maíz-haba en tepetate.

Cuadro 8. Productividad de la asociación maíz-haba, Hueyotlipan, Tlaxcala, en el cuarto año de uso agrícola del tepetate, Hueyotlipan, Tlaxcala, 1994.

	Maíz	Haba	
Eficiencia reproductiva (%)	81	Vainas/m^2	35
Rendimiento (kg/ha)	3107	Granos/M^2	59
Materia seca total (kg/ha)	11855	Grano comercial (%)	80
Indice de cosecha	0.3154	Rendimiento (kg/ha)	783
Rendimiento total de la asociación (kg/ha)		3890	

Ciclo 1 9 9 5

En el quinto año de manejo del tepetate se adicionó materia orgánica a razón (28 ton/ha) y se evaluaron diferentes manejos agronómicos. Los resultados encontrados se presentan en el Cuadro 9. En el rendimiento de grano de maíz, es notorio el efecto de la materia orgánica, en términos similares, al tratamiento de Fertilización. El diferencial de producción de grano tendió a ser menor, que el presentado en el resto de los manejos, seguidos de la inoculación+starter y starter, ambos con aporte de materia orgánica. Las restricciones desde el punto de vista nutrimental ocasionó que el maíz no cubriera los requerimientos para su adecuada expresión agroproductiva, como fue el caso del testigo y de los tratamientos sin aplicación de materia orgánica.

En el caso del haba, se determinó un marcado diferencial en la producción de grano al interior de los diferentes tratamientos en sus dos condiciones de materia orgánica, no obstante, en la fertilización el diferencial fue menor.
El testigo presentó la mejor respuesta en la producción de grano, mostrando una tendencia positiva en sus dos condiciones de materia orgánica. La fertilización, no mostró un efecto positivo, dado que el rendimiento de grano fue menor con respecto al resto de los tratamientos. Los resultados manifiestan que el haba aún bajo condiciones más restrictivas de manejo presenta una agroproductividad superior.
En relación con la producción total de grano de los diferentes manejos agronómicos, tres de estos con aporte de materia orgánica (starter, fertilización e inoculación+starter) presentaron los mejores resultados productivos con rendimientos similares al rededor 3.6 t/ha de grano. Sin duda, una productividad aceptable en un tepetate de cinco años de uso agrícola.

Cuadro 9. Productividad de la asociación maíz-haba, bajo diferente manejo agronómico en el quinto año de uso agrícola del tepetate, Hueyotlipan, Tlaxcala, 1995.

Factores de evaluación		Rendimiento de grano (kg/ha)		
Tratamientos	Materia orgánica	Maíz	Haba	Total
Inoculación	Con	1105.1	1904.4	3009.5
	Sin	106.6	322.9	429.5
Starter	Con	2181.1	1452.3	3633.4
	Sin	170.2	758.5	928.7
Inoculación +	Con	2560.2	1018.7	3578.9
starter	Sin	299.1	943.96	940.4
Fertilización	Con	2848.2	853.2	3701.4
	Sin	2379.3	755.5	3134.8
Testigo	Con	1090.0	1519.0	2609.0
	Sin	158.5	1093.8	1252.3

Los resultados encontrados en las variedades de maíz asociadas con haba con diferentes manejos agronómicos se presentan en el Cuadro 10. En ambas especies es notorio el efecto positivo de la materia orgánica. En maíz la Fertilización resultó ser la práctica mediante la cual se presentó una mejor respuesta biológica en la producción de grano.

En la práctica inoculación+starter sin materia orgánica, el rendimiento mostró una reducción significativa. En el haba se encontraron respuestas diferentes del rendimiento de acuerdo a la variedad de maíz con la que se asoció y con efecto determinante de la materia orgánica. En la inoculación sin aporte de materia orgánica el rendimiento se redujo.

Cuadro 10. Productividad de variedades de maíz asociadas con haba, en diferentes manejos agronómicos, en el quinto año de uso agrícola del tepetate, Hueyotlipan, Tlaxcala, 1995.

Factores de evaluación		Materia orgánica	Rendimiento de grano (kg/ha)		
Variedad de maíz	Manejo agronómico		Maíz	Haba	Total
Blanco Tardío	Inoculación +	Sin	1411	710	2121
	starter	Con	1921	1142	3063
	Fertilización	Sin	1715	908	2653
		Con	2570	1542	4112
Blanco Precoz	Inoculación +	Sin	272	1043	1314
	starter	Con	2294	1422	3716
	Fertilización	Sin	1821	618	2439
		Con	2608	975	3583
Negro	Inoculación +	Sin	213	395	608
	starter	Con	1284	2006	3290
	Fertilización	Sin	1923	1508	3431
		Con	2228	1111	3339
Cañuela	Inoculación +	Sin	299	641	940
	starter	Con	2560	1019	3579
	Fertilización	Sin	2379	756	3135
		Con	2848	853	3701

La producción total de grano de la asociación experimento la mayor agroproductividad en la fertilización, sin embargo, en la variedad blanco precoz la mejor respuesta cuantitativa se encontró en la práctica inoculación+starter con materia orgánica. No obstante, la producción de grano total fue sensiblemente igual entre la fertilización e inoculación+starter con materia orgánica.

Ciclo 1 9 9 6.

En este ciclo el manejo lo realizó el agricultor. Se planeó establecer un lote de producción de semilla de haba, ante el excelente comportamiento agronómico de esta especie en los ciclos inmediatos anteriores.

La parcela liberada no tuvo el éxito esperado, dado que no se llevaron a cabo el conjunto de recomendaciones posteriores a la siembra, determinado en gran medida por el año climático, el cual presentó un retraso e irregularidad en las lluvias. El producto fue cosechado en verde. Y no se cuantificó el volumen de la producción.

Conclusiones

El protocolo experimental permitió obtener resultados confiables con relación a la hipótesis inicial relativa al desarrollo de producción de los tepetates considerando la edad del tepetate, la variedad interanual de los años climáticos y el potencial en la diversidad modalidades de manejo

Las potencialidades de producción de biomasa anual se evidenciaron con los tratamientos en función de las especies ensayadas; los potenciales al interior de las mismas según diversas fuentes de variación y con asociaciones de especies (gramineas-leguminosas).

Los resultados de productividad de biomasa durante la rotación son consistentes para integrar la expresión de la potencialidad ponderada por la duración de los protocolos.

Recomendaciones

Las recomendaciones técnicas para hacer del tepetate productivo a mediano plazo son: roturación del tepetate a una profundidad mínima de 40 cm, con fraccionamiento de las partículas tendiendo a fino; establecer inicialmente cereales de grano pequeño como trigo, avena o cebada o bien cultivos de cobertura como la veza (*Vicia sativa)* o carretilla (*Medicago sp)*.

Incorporación de residuos con alta relación C:N como pajas y rastrojo de maíz para enriquecer el reservorio orgánico.

En la fase inicial; incrementar hasta en un 50% la densidad de siembra, con el fin de lograr un mejor establecimiento de la población vegetal; manejo de la fertilización mediante aplicaciones fraccionadas; usar asociación de cultivos como práctica potenciadora de la productividad valorizando los recursos genéticos locales.

No utilizar maíz en el primer ciclo de producción y prospectar pastos y sistemas agroforestales que aseguren la diversidad agroecológica en zonas de altos riesgos climáticos.

Bibliografía

Navarro G.H. y Zebrowski C. 1992 C. 1992 Análisis Agronómico comparativo en tepetates. TERRA 10:451-459

Navarro G.H. y C. Zebrowski y Ma. A. Pérez. 1994. La rehabilitación de los tepetates. Productividad agrícola y condiciones socioeconómica de producción en la región de Hueyotlipan (Tlaxcala, México) Terra in prensa.

Obrador, J. J. 1994. Validación de parámetros de planta y clima que se utiliza en un modelo simplificado destinado o determinar dosis de fertilización de N, P y K para maíz. Tesis de Maestría en Ciencias. Centro de Edafología. Colegio de Postgraduados. Montecillos, Edo. De Mex. 120p.

IMPRESO EN EDITORIAL FUTURA S.A.
PROL. ALDAMA #129 BARRIO
LA CONCHITA TEXCOCO, MEXICO
TIRAJE 600 EJEMPLARES
AGOSTO DE 1998.