

TECNOLOGÍAS AGROECOLÓGICAS PARA LA RESTAURACIÓN DE SUELOS DEGRADADOS EN LA SUBCUENCA DE COINTZIO, MICHOACÁN

Miguel Bravo Espinosa, J. Trinidad Sáenz Reyes, Gerardo Barrera Camacho, Lenin Medina, Manuel Mendoza, Christian Prat y Felipe García

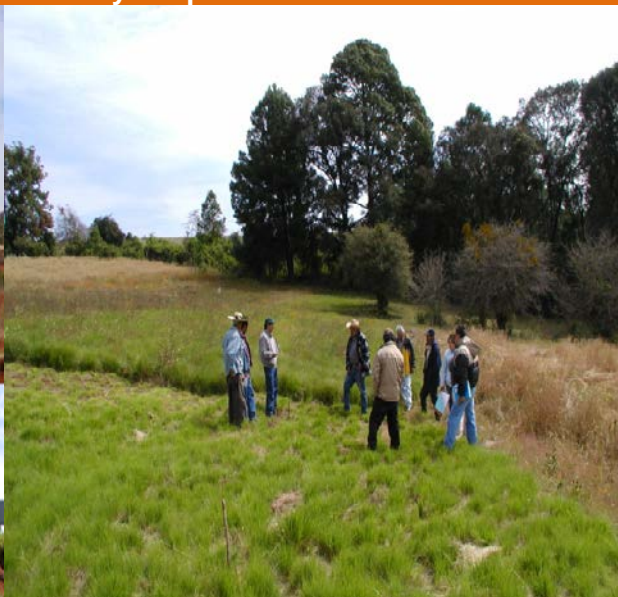


GOBIERNO FEDERAL

SAGARPA

inifap

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias



Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias
Centro de Investigación Regional Pacífico Centro
Campo Experimental Uruapan
Uruapan, Michoacán
Folleto Técnico Núm. 28

Noviembre de 2011
ISBN: 978-607-425-701-4



Vivir Mejor

SECRETARÍA DE AGRICULTURA, GANADERÍA, DESARROLLO RURAL, PESCA Y ALIMENTACIÓN

ING. FRANCISCO JAVIER MAYORGA CASTAÑEDA
Secretario

M. C. MARIANO RUÍZ-FUNES MACEDO
Subsecretario de Agricultura

ING. IGNACIO RIVERA RODRÍGUEZ
Subsecretario de Desarrollo Rural

ING. ERNESTO FERNÁNDEZ ARIAS
Subsecretario de Fomento a los Agronegocios

MSC. JESÚS ANTONIO BERUMEN PRECIADO
Oficial Mayor

BIOL. ESTEBAN CRUZALEY DÍAZ BARRIGA
Delegado Estatal en Michoacán

INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES FORESTALES, AGRÍCOLAS Y PECUARIAS

DR. PEDRO BRAJCICH GALLEGOS
Director General

DR. SALVADOR FERNÁNDEZ RIVERA
Coordinador de Investigación, Innovación y Vinculación

MSc. ARTURO CRUZ VÁZQUEZ
Coordinador de Planeación y Desarrollo

LIC. RICARDO NOVERÓN CHÁVEZ
Director General Adjunto de la Unidad Jurídica

LIC. MARCIAL ALFREDO GARCÍA MORTEO
Coordinador de Administración y Sistemas

CENTRO DE INVESTIGACIÓN REGIONAL PACÍFICO CENTRO

DR. KEIR FRANCISCO BYERLY MURPHY
Director Regional

DR. GERARDO SALAZAR GUTIÉRREZ
Director de Investigación

M. C. PRIMITIVO DÍAZ MEDEROS
Director de Planeación y Desarrollo

LIC. MIGUEL MÉNDEZ GONZÁLEZ
Director de Administración

DR. IGNACIO VIDALES FERNÁNDEZ
**Director de Coordinación y Vinculación en Michoacán
y Jefe del Campo Experimental Uruapan**

TECNOLOGÍAS AGROECOLÓGICAS PARA LA RESTAURACIÓN DE SUELOS DEGRADADOS EN LA SUBCUENCA DE COINTZIO, MICHOACÁN

Miguel Bravo Espinosa

Investigador de la Red de Agua y Suelo. Campo Experimental Uruapan.
CIRPAC. INIFAP.

J. Trinidad Sáenz Reyes

Investigador de la Red de Plantaciones y Sistemas Agroforestales.
Campo Experimental Uruapan. CIRPAC. INIFAP.

Gerardo Barrera Camacho

Investigador de la Red de Socioeconomía. Campo Experimental
Uruapan. CIRPAC. INIFAP.

Lenin Medina Orozco

Profesor de la Facultad de Biología, Universidad Michoacana de San
Nicolás de Hidalgo.

Manuel E. Mendoza

Investigador del Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental,
Universidad Nacional Autónoma de México

Christian Prat

Investigador del IRD, Francia

Felipe García Oliva

Investigador del Centro de Investigaciones en Ecosistemas,
Universidad Nacional Autónoma de México

**INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES FORESTALES,
AGRÍCOLAS Y PECUARIAS
CENTRO DE INVESTIGACIÓN REGIONAL PACÍFICO CENTRO
CAMPO EXPERIMENTAL URUAPAN**

TECNOLOGÍAS AGROECOLÓGICAS PARA LA RESTAURACIÓN DE SUELOS DEGRADADOS EN LA SUBCUENCA DE COINTZIO, MICHOACÁN

No está permitida la reproducción total o parcial de esta obra, ni la transmisión de ninguna forma o por cualquier medio, ya sea electrónico, mecánico, por fotocopia, por registro u otros métodos, sin la autorización previa y por escrito de los titulares del derecho de autor.

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias
Progreso 5, Barrio de Santa Catarina
Delegación Coyoacán C. P. 04010
México, D. F. Teléfono: (55) 38 71 87 00
www.inifap.gob.mx
Correo-e: contactenos@inifap.gob.mx

Primera edición: Noviembre de 2011
Impreso en México *Printed in Mexico*

ISBN: 978-607-425-701-4

Folleto Técnico Núm. 28 Noviembre de 2011

Código INIFAP: MX-0-310305-13-05-27-09-28

Centro de Investigación Regional Pacífico Centro
Campo Experimental Uruapan
Av. Latinoamericana Núm. 1101, Col. Revolución
C. P. 60150. Uruapan, Michoacán. México
Tel: (452) 523 7392
Fax: (452) 524 4095

La presente publicación se terminó de imprimir en el mes de Noviembre de 2011 en los talleres de CMYK Desing and Printed. Nicolás Bravo No. 160-B. Col. Centro - C. P. 58000. Morelia, Mich. Teléfono (443) 3-17-72-33

Su tiraje consta de 250 ejemplares

La cita correcta de ésta publicación es:

Bravo-Espinosa, M., J.T. Sáenz-Reyes, G. Barrera-Camacho, L. Medina, M.E. Mendoza, C. Prat, F. García. 2011. Tecnologías Agroecológicas para la Restauración de Suelos Degradados en la Subcuenca de Cointzio, Michoacán. Folleto Técnico Núm. 28. SAGARPA–INIFAP- CIRPAC-Campo Experimental Uruapan. Uruapan, Michoacán, México. 90 p.

CONTENIDO

	Página
I. RESUMEN	1
II. INTRODUCCIÓN	2
III. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	5
III.1. Conceptos de la degradación del suelo	5
III.2. Procesos de degradación del suelo	6
III.3. Manejo agroecológico del suelo	8
III.4. La restauración de suelos y la participación comunitaria	9
IV. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE DEGRADACIÓN DEL SUELO EN LA SUBCUENCA DE COINTZIO	12
IV.1. Percepciones locales de la degradación del suelo	12
IV.2. Cambio de uso del suelo	14
IV.3. Condiciones limitantes de los suelos	14
IV.4. Problemas derivados del uso agrícola y pecuario del suelo	17
V. ENFOQUE DE INVESTIGACIÓN USADO	24
VI. DESCRIPCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS	26
VI.1. Manejo agroecológico del suelo para producir maíz	27
VI.1.1. Introducción	27
VI.1.2. Manejo del agua de lluvia	27
VI.1.3. Encalado	29
VI.1.4. Fertilización orgánica	29
VI.1.5. Labranza de conservación	32
VI.1.6. Dominios de recomendación en Acrisoles o “Charandas”	35

VI. 2. Producción de avena forrajera	36
VI.2.1. Introducción	36
VI.2.2. Formación de melgas al contorno	37
VI.2.3. Descripción de variedades	38
VI.2.4. Época de siembra	40
VI.2.5. Densidad de siembra	40
VI.2.6. Método de siembra	40
VI.2.7. Fertilización	41
VI.2.8. Control de maleza	41
VI.3. Producción de forraje de pasto llorón (<i>Eragrostis curvula</i>)	42
VI.3.1. Introducción	42
VI.3.2. Áreas de adaptación	43
VI.3.3. Establecimiento	44
VI.3.4. Variedades	45
VI.3.5. Cantidad de semilla y método de siembra	46
VI.3.6. Fertilización	46
VI.3.7. Control de maleza	47
VI.3.8. Utilización y manejo de la pradera	47
VI.4. Producción de forraje de zacate rhodes (<i>Chloris gayana</i>)	49
VI.4.1. Introducción	49
VI.4.2. Áreas de adaptación	49
VI.4.3. Establecimiento	50
VI.4.4. Variedades	51
VI.4.5. Cantidad de semilla y método de siembra	52
VI.4.6. Fertilización	52
VI.4.8. Control de maleza	52
VI.4.9. Utilización y manejo de la pradera	53
VI.5. Encalado de Acrisoles o "Charandas"	54
VI.5. 1. Introducción	54
VI.5. 2. Material para encalado	55
VI.5. 3. Aplicación del encalado	57

VI.6. Barreras vivas para reducir la erosión y conservar el agua	58
VI.6.1. Introducción	58
VI.6.2. Ámbito de aplicación de la tecnología	62
VI.6.3. Construcción de la barrera	62
VI.6.4. Selección de la especie vegetal para la barrera	63
VI.6.5. Mantenimiento y labranza en los intervalos entre las barreras	63
VI.6.7. Impacto y costos de la tecnología	64
VI.6.8. Ejemplo: Planeación del sistema TBV en una ladera	65
VI.7. Coberturas vegetales y represas para el control de la erosión en cárcavas	69
VI.7.1. Introducción	69
VI.7.2. Características de las cárcavas	70
VI.7.3. Control de la erosión en cárcavas	71
VII. LITERATURA CITADA	77

I. RESUMEN

Un programa de producción de alimentos responsable comienza por el cuidado de los suelos. Los principales factores que alteran la integridad y salud de los suelos son los asociados con las prácticas agrícolas inapropiadas, y las variaciones climáticas (para el caso de zonas subhúmedas secas y semiáridas), las cuales reducen su capacidad para producir alimentos entre otros servicios ambientales. En México los costos para prevenir y restaurar el daño de los recursos naturales base de la actividad primaria representan el 1.5% del PIB. La restauración de suelos, disciplina que se desprende del marco teórico del manejo de ecosistemas, es la actividad humana que tiene por objeto restablecer parcial o totalmente las funciones del suelo. El presente manual tiene por objeto presentar información sobre los principales procesos que conllevan a la degradación del suelo y algunas tecnologías agroecológicas que propician su recuperación y el mejoramiento de la capacidad productiva de los Acrisoles y Andosoles, en la subcuenca de Cointzio, Michoacán. Las tecnologías que se documentan, favorecen el mejoramiento del suelo y la diversificación de la producción, porque combinan diversas técnicas como son el uso de cubiertas con residuos de cosechas, incorporación de compostas y estiércoles, rotación y asociación de cultivos, encalado y el aprovechamiento del agua de lluvia. También se incluyen prácticas que reducen la erosión del suelo como las barreras vivas, el trazo de surcos al contorno y la estabilización de taludes. Este conjunto de prácticas reducen la compactación, el escurrimiento y el arrastre de suelo, favoreciendo la infiltración, contenidos de humedad y materia orgánica, disponibilidad y reciclaje de nutrientes, secuestro de carbono, y la actividad de microorganismos, entre otros.

Palabras clave: Erosión, Cuitzeo, Labranza de conservación,

II. INTRODUCCION

Los suelos son el recurso patrimonial estratégico que debe ser manejado de manera sustentable porque la sobrevivencia humana depende de la integridad y del estado de salud de dicho recurso. Es decir, su buen manejo debe ser un compromiso responsable transgeneracional. Sin embargo, en varias partes del mundo, la capacidad de los suelos para producir alimentos y otros servicios ambientales que son vitales para el desarrollo de la sociedad, está disminuyendo como resultado de las actividades humanas inapropiadas y debido a las variaciones climáticas.

Las estimaciones más recientes señalan que el 48% de los suelos en México están degradados y que las formas principales de daño son la pérdida de la fertilidad del suelo, seguida por la erosión hídrica y eólica, y por la salinización. De acuerdo con el INEGI (2008), los costos totales en los que tendría que incurrir la sociedad para prevenir y reparar el agotamiento y la degradación de los recursos naturales en el sector agropecuario y forestal, alcanzan una cifra anual de 147 mil 241 millones de pesos, que representa el 1.5 % del Producto Interno Bruto Nacional.

En Michoacán, el 55% de los suelos están afectados por dos tipos principales de daño. El primero por el arrastre de las partículas de suelo y el segundo por el deterioro químico y biológico del suelo (CP-SEMARNAT, 2002). En la cuenca del Lago de Cuitzeo, Michoacán, la degradación de los suelos ocurre por la pérdida de nutrientes, por el

arrastre del suelo superficial y por la formación de cárcavas (Bravo *et al.*, 2008). Este deterioro se debe al mal manejo del suelo, al sobrepastoreo y a los cambios de usos del suelo ocasionados por la deforestación. La degradación del suelo reduce la productividad agrícola y aumenta los costos para su restauración, por estas graves consecuencias, no es aceptable asumir una actitud pasiva mientras el deterioro avanza. Por el contrario, es urgente la búsqueda de conocimientos y tecnologías que detengan y revertan el deterioro del suelo para que las múltiples funciones del suelo recobren su integridad. De la recuperación de estas funciones depende la continuidad de nuestra civilización.

Este folleto técnico tiene por objeto presentar tecnologías que propician una trayectoria de recuperación y mejoramiento de la capacidad productiva de Acrisoles y Andosoles en la subcuenca de Cointzio. Es decir, son manejos o prácticas que reducen las causas que provocan el deterioro por erosión y la pérdida de la fertilidad del suelo. Estas tecnologías son: (I) Manejo agroecológico del suelo para producir maíz; (II) Prácticas de producción de forraje en suelos degradados, y (III) Coberturas vegetales y represas para el control de la erosión en cárcavas. La información contenida en esta publicación es producto de los proyectos de investigación: (1) Agricultura alternativa para la restauración sostenible de suelos volcánicos deteriorados en México y Chile (ICA4-CT-2001-10052), (2) Degradación y restauración de suelos con enfoques participativos en la cuenca de Cointzio, Michoacán (SEMARNAT-2004-C01-304), y (3) Potencial de barreras vivas en y labranza de conservación en suelos de ladera.

La subcuenca de Cointzio se ubica en la Región Hidrológica Lerma-Chapala, en la porción SO de la cuenca del Lago de Cuitzeo, Michoacán (19^o 33´ - 19^o 37´ LN y 101^o 09´-101^o 15´LO, Figura 1). La subcuenca abarca 675 km², con relieve de planicies, colinas y lomeríos altos, desarrollados sobre materiales volcánicos del tipo andesítico y depósitos superficiales (Mendoza y López, 2007). Los suelos dominantes son los localmente conocidos como “tierra polvilla” o Andosoles y la “charanda” o Acrisoles que cubren el 35 y 33 % de la subcuenca, respectivamente. El clima es templado subhúmedo con una precipitación media anual de 900 mm, y una temperatura media anual de 18 °C. El río Grande es la corriente principal cuyo caudal se regula y almacena en la presa de Cointzio de donde se deriva cierto volumen para los usos público-urbano (previa potabilización) de la ciudad de Morelia, y agrícola, principalmente (CONAGUA, 2009).

La actividad agrícola se desarrolla en el 37 % del área total, mientras que la forestal (bosque cerrado y semiabierto) cubre el 31%. El sistema de producción tradicional predominante es el denominado “año y vez”, que es una rotación maíz-descanso, la cual consiste en la producción de maíz solo o asociado durante un ciclo y en el ciclo posterior la tierra permanece en descanso o para el pastoreo del ganado. En la subcuenca habitan aproximadamente 43,500 personas distribuidas en 155 asentamientos, de los cuales sólo tres son urbanos (Mendoza y López, 2007).

III. REVISION BIBLIOGRAFICA

III.1. Concepto de degradación del suelo

Dentro del tema de la restauración ecológica, existe plena aceptación de que ciertos tipos de disturbio forman parte de la dinámica de los ecosistemas, y que éstos tienen grados de resistencia y resiliencia que les permiten cierta estabilidad. También hay aceptación científica de que los seres humanos, para satisfacer necesidades de alimento, vestido, vivienda, etc., y como parte actuante dentro de los procesos que ocurren en los ecosistemas, ocasionan disturbios que varían en tipo, extensión, intensidad y temporalidad o recurrencia.

La especie humana ha estado íntimamente vinculada con los ecosistemas desde hace al menos 15 mil años. Pero en los últimos 50 años, con el advenimiento de modelos de producción de extracción y asalto al entorno natural, se ha propiciado un deterioro ambiental de grandes dimensiones (Sánchez, 2005). La erosión y la pérdida de la fertilidad del suelo contribuyen con el 84 y 7%, respectivamente, a la degradación del suelo en el mundo (Oldeman *et al.*, 1991; Oldeman, 1993).

Dentro del marco general de la restauración ecológica, la degradación del suelo está incluida en un concepto más general denominado degradación de la tierra, que se define como el empobrecimiento o pérdida de la productividad de un ecosistema, incluyendo el suelo, vegetación, biota animal y de los procesos hidrológicos, biogeoquímicos y ecológicos que operan en él (United Nations, 1994). Cuando la degradación se presenta en zonas áridas, semiáridas o subhúmedas secas, a ésta se le denomina desertificación; en esta definición se enfatiza

que la desertificación es resultante de varios factores, incluyendo a las variaciones climáticas y actividades humanas.

Con base en los conceptos anteriores, la degradación del suelo se define como el proceso causado por actividades humanas y variaciones climáticas, que originan la pérdida de la capacidad edáfica para producir los diversos servicios ambientales, entendiéndose estos como los beneficios que la sociedad obtiene, entre estos, el almacenamiento y circulación del agua, de soporte físico y suministro de nutrientes a las plantas, almacenamiento de carbono, y producción de biomasa, entre muchos otros.

III.2. Procesos de degradación del suelo

En la evaluación de la degradación del suelo realizada por el CP-SEMARNAT (2002), la cual se basó en la metodología conocida como ASSOD (Assessment of the Status of Human-induced Soil Degradation), los tipos de degradación del suelo considerados fueron: erosión hídrica (la cual incluye la erosión laminar, en canalillos y en cárcavas, y externalidades), erosión eólica (pérdida del suelo superficial, deformación del terreno y externalidades), degradación química (pérdida de la fertilidad, contaminación, salinización y eutrofización), y degradación física (compactación, encostramiento, anegamiento, pérdida de la función productiva, hundimiento del suelo superficial y disminución de la disponibilidad de agua). Cabe mencionar que en este estudio la degradación biológica fue considerada dentro de la degradación química, con la incorporación en ésta de la pérdida de la fertilidad.

El proceso de degradación del suelo más importante en México es el de tipo químico-biológico, ocasionado por la declinación de la fertilidad y la reducción de la materia orgánica, principalmente. El segundo proceso que causa más degradación es la erosión hídrica y eólica. La pérdida de la fertilidad y la erosión contribuyen con más del 80 % de la degradación del suelo en México (CP-SEMARNAT, 2002). Las causas que ocasionan esta degradación son cambios en la cubierta vegetal debido a la deforestación, sobrepastoreo y actividades agrícolas. También el crecimiento de la población requiere más alimento lo cual ha aumentado la presión para ocupar áreas marginales y laderas.

En la cuenca del Lago de Cuitzeo donde se llevaron a cabo los estudios que derivaron en el presente trabajo, las tierras agrícolas y de pastoreo abarcan el 70% del área total de la cuenca. La problemática asociada con la actividad agrícola en esta cuenca se abordará más adelante.

En las áreas de pastoreo, al igual que en otras regiones del país, la degradación del suelo está asociada con el sistema de pastoreo continuo (SPC) a que han estado sometidas estas áreas por largos periodos de tiempo. Se ha documentado que el pisoteo continuo y la presión de carga animal sin control, incrementan la densidad aparente del suelo, reducen la porosidad, incrementan la erosión y el escurrimiento superficial, lo cual se asocia con una menor retención de humedad y que se traduce en una menor producción de biomasa, para finalmente conducir a la degradación del suelo (Blackburn *et al.*, 1982; Serna y Echavarría, 2002; Echavarría *et al.*, 2007).

La degradación del suelo genera pobreza y en suma impide alcanzar el bienestar humano. Por ello, la degradación del suelo es un problema que requiere la participación de todos los actores en el diseño y aplicación integral de programas multisectoriales guiados bajo principios de planeación participativa.

III.3. Manejo agroecológico del suelo

Los esquemas agroecológicos enfatizan que el manejo agronómico no debería rebasar los umbrales de resistencia y resiliencia propios de cada suelo. Con ello, las consecuencias derivadas del uso podrían ser atenuadas por el propio suelo. Sin embargo, los manejos agrícolas y las formas de extracción de recursos actuales trascienden esos umbrales, porque en un contexto de una creciente presión poblacional, se ha perdido mucho conocimiento tradicional por la falta de continuidad de procesos locales de manejo y uso de recursos. Este tipo de reflexiones ha propiciado el desarrollo de definiciones operativas. Por ejemplo, el concepto de manejo, bajo el contexto ecosistémico, involucra la gestión integral y de largo plazo, en nuestro caso del suelo, lo que conlleva a la necesidad de un manejo sustentable. En oposición al concepto de explotación, que implicaría su aprovechamiento hasta que se agota el recurso (Christensen *et al.* 1996; Pérez, 2005).

El aprovechamiento agrícola y pecuario de los suelos en muchas regiones de México, se ha reducido a la mera explotación, lo cual ha ocasionado la degradación de este recurso. Brady y Weil (2004) plantearon la siguiente definición de tecnología agroecológica sustentable, como aquella que reduce la contaminación del suelo y agua, aumenta el uso eficiente de nutrientes y agua, mantiene o

incrementa la cantidad y calidad de la materia orgánica, reduce la erosión y aumenta la diversidad biológica en el suelo. Algunos elementos importantes de esta definición es que enfatiza en mantener la salud y la integridad de las principales propiedades del suelo, para proveer servicios ecosistémicos. También incluye elementos de perturbación como la erosión y la contaminación del agua.

Las percepciones del gobierno y de la sociedad civil no muestran relación con la protección y relevancia de los suelos para el mantenimiento de los ecosistemas y la sobrevivencia humana, pues las políticas oficiales para la restauración y conservación de los suelos son débiles y dispersas, es decir, el manejo sostenible de los suelos, no ocupa un lugar importante en la agenda económica y política de México (Cotler *et al.*, 2007).

Lo anterior justifica la importancia de la generación de conocimientos, y más aun, la difusión de información técnica para el control de la degradación del suelo, bajo esquemas que incluyan a los productores e instituciones.

III.4. Restauración de suelos y participación comunitaria

La restauración del suelo más que una disciplina consolidada, es un tema que está en construcción, por las complejas interrelaciones que el suelo mantiene dentro del ecosistema y dentro de la sociedad; esto es, la restauración afecta a las componentes social, económica y ambiental. Se encuentran en desarrollo y debate su filosofía, estrategias, metodologías para medición y monitoreo, y técnicas de restauración. Sin duda los aspectos que requieren mayores aportes son el desarrollo

de modelos de investigación participativa considerando los diferentes actores, el desarrollo de soluciones prácticas y de modelos educativos para la restauración ecológica (Barraza, 2005).

Diversos estudios señalan que existen brechas en el entendimiento de los problemas del suelo y agua entre técnicos y los poseedores del recurso, que limitan los resultados de restauración de suelos (Tiffen *et al.*, 1994; Schechambo *et al.*, 1999). Las principales fallas son la falta de involucramiento de la población, falta de sensibilidad a las necesidades locales, subestimación del conocimiento local y sobrevaloración del conocimiento técnico, e inadecuada atención a los problemas sociales de la comunidad (Poudel *et al.*, 2000; Sutherland, 2003).

Para identificar los problemas sentidos por la comunidad y para involucrar activamente a ésta en los procesos de investigación y transferencias de tecnologías aplicadas, se ha reconocido que es necesaria una mayor integración entre las ciencias exactas y las ciencias sociales (Manu *et al.* 1997; Rhoades, 1997; Sazón, 1997).

En diversos estudios se argumenta que los esquemas de investigación participativa mejoran la eficiencia y equidad en el manejo sostenible de los recursos naturales de las comunidades, porque aseguran que la investigación agropecuaria y forestal se realice considerando las necesidades, prioridades, capacidades y limitaciones de los productores (Johnson *et al.*, 2004; Probst *et al.*, 2003). Las referencias sobre investigación participativa para la restauración de suelos consultadas, subrayan que el involucramiento de los productores y de las instituciones que ofrecen servicios de extensión, enfatizando la identificación del problema y de las soluciones, es crucial

para que las tecnologías sean aceptadas y adoptadas por los productores (Mushala, 1997; Poudel *et al.*, 2000; Sutherland, 2003; Valdivia y Villarreal, 1998).

Hobbs y Norton (1996) plantearon etapas concretas de acción para alcanzar metas de restauración ecológica. Estos autores sugieren que como primer paso, es necesario identificar los procesos y componentes que generan la degradación. Como segundo paso, se deben generar métodos capaces de detener o inhibir dichos procesos. En tercer lugar, se deben consensuar metas realistas para restaurar, definiéndose parámetros concretos y fácilmente observables. En cuarto lugar, se deberán desarrollar tecnologías prácticas para lograr las metas comprometidas, y finalmente, si las técnicas resultan exitosas, éstas se deberán documentar y difundir entre la población para su adopción y uso.

IV. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE DEGRADACIÓN DEL SUELO EN LA SUBCUENCA DE COINTZIO

IV.1. Percepciones locales de la degradación del suelo

En demostraciones de campo, talleres, recorridos y entrevistas se consultó a los productores si perciben a la degradación de los recursos naturales como un problema. Esta actividad se desarrolló en dos cuencas del estado de Michoacán, pero se comentarán sólo los resultados obtenidos en la comunidad de El Ejido Nieves ubicada en subcuenca de Coitzio (Barrera *et al.*, 2005; Bustos *et al.*, 2006; Bustos, 2007).

En el Ejido Nieves se desarrollaron dos tipos de talleres. Unos para identificar los problemas más sentidos por la comunidad y otros talleres fueron orientados a percibir si la degradación del suelo la identifican como un problema. Los resultados fueron los siguientes: Los problemas prioritarios que identificaron los participantes fueron la carencia de una clínica rural de salud, falta de fuentes de empleo, el alcoholismo, y la falta o poca comunicación entre las personas de la comunidad; los problemas de los recursos naturales fueron en la opinión de ellos de importancia secundaria.

En los talleres para percibir si la erosión es un problema, en orden de prioridad, los consensos sobre los problemas reconocidos fueron: la destrucción del bosque, contaminación de ríos, escasez de agua, la pérdida de suelo, y en última prioridad la producción y manejo de basura. Al aplicar la técnica del árbol de problemas (Chevalier, SF) y de correlación, se identificó que de 24 posibles causas de los problemas, el 34% de éstas

tuvieron relación directa con la pérdida de agua. Esto sugirió que el problema de mayor impacto para la comunidad, por el mayor número de causas que lo afectan, fue la escasez de agua, y no así la destrucción del bosque como la gente lo percibió inicialmente. También se identificó que la erosión de suelo y la destrucción del bosque tuvieron el mismo nivel de prioridad para los campesinos. Se puede establecer de manera general, que los productores de El Ejido Nieves reconocen el problema de erosión del suelo, pero este no ocupa su atención y compromiso de forma prioritaria.

El problema de erosión fue asociado por los ejidatarios de Nieves con el sistema de producción de "año y vez", que practican tanto en suelos de "charanda" (Acrisoles) como en "tierra polvilla" (Andosoles), la deforestación o pérdida de árboles, las cárcavas o grietas en barrancas, el uso de tierra para la elaboración de adobe para construcción de casas, resequedad y endurecimiento del suelo, y la falta de capacitación. El impacto que asociaron con la erosión fue en término de pérdida de siembras y cosechas, así como la contaminación del agua.

Entre las sugerencias que los ejidatarios vislumbraron para reducir la erosión del suelo figuraron: la plantación de árboles en los terrenos con pendiente, el control del pastoreo, diversificar los cultivos, y no vender o rentar la tierra que cultivan.

IV.2. Cambio de uso del suelo

En la subcuenca de Cointzio se asientan total o parcialmente ocho municipios del Estado de Michoacán, que incluyen una población de poco más de 43 mil habitantes, distribuidos en 155 localidades, de las cuales sólo tres de ellas tienen más de 2500 habitantes. Las coberturas vegetales y usos del suelo predominantes en la subcuenca son: cultivos de temporal, bosque cerrado, matorral-pastizal, cultivos de riego y bosque semi-abierto.

Durante el periodo de estudio los procesos de cambio significativos en el uso del suelo y de la cubierta vegetal incluyeron el aumento de la deforestación y la degradación del bosque (10%), matorralización (10 %), recuperación del bosque (6%) y urbanización (1%). Los procesos de degradación de la cubierta vegetal están ocurriendo en laderas suaves e inclinadas, lo cual podría acelerar procesos de erosión del suelo. También se observa que existe una ligera tendencia a aumentar el área de cultivo de temporal a expensas de las áreas arboladas, las cuales ocurren en posiciones fisiográficas de ladera, que favorecen la erosión, si no se aplican prácticas de conservación del suelo (Mendoza y López, 2007).

IV.3. Condiciones limitantes de los suelos

Los Acrisoles ocupan el 33.06 % de la subcuenca de Cointzio, los Andosoles, que es el grupo más grande, se presenta en el 35.06 %, y el restante lo ocupan otros suelos como Luvisoles, Feozems, Rankers, Cambisoles, Litosoles, Planosoles y Vertisoles (Figura 1).

Los Acrisoles, de acuerdo con la clasificación de la FAO (1988), son suelos altamente arcillosos, con presencia de agrietamientos de poca amplitud, pero profundas cuando están secos; tiene un intenso desarrollo de motas de manganeso dentro de los primeros 70 cm de profundidad. Son muy ácidos, con bajo contenido de MO y de nutrientes, pero con excesos de manganeso. En el Cuadro 1 se presentan las principales propiedades de un Acrisol en proceso de degradación.

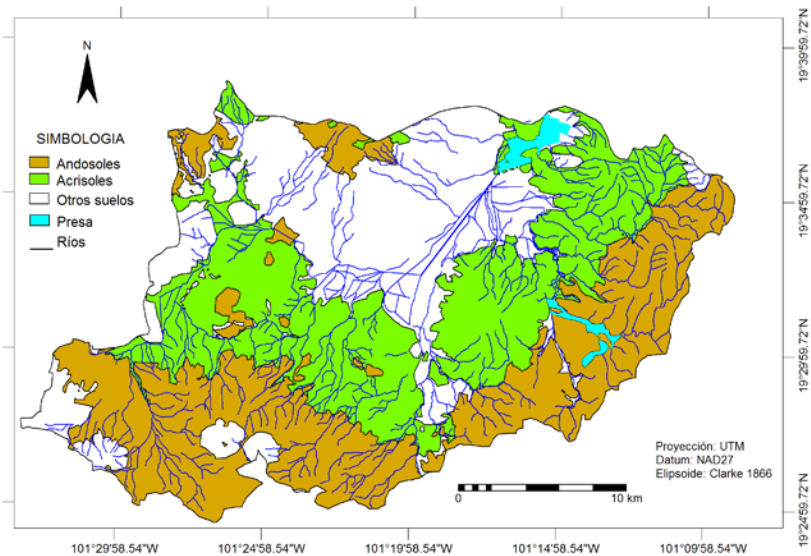


Figura 1. Tipos de suelos dominantes y red natural de drenaje en la subcuenca de Cointzio, Mich.

Con relación a los Andosoles (Cuadro 2), éstos se caracterizan por su baja densidad aparente y por mayores contenidos de materia orgánica, porosidad, permeabilidad y capacidad de retención de humedad (Alcalá *et al.*, 2001). Los cultivos desarrollados en estos suelos, presentan

deficiencias nutrimentales (fijación de PO_4 , NH_4 , NO_3 , SO_4 , Bo, Mo, MO, toxicidad por Al); además, estos suelos inhiben la actividad microbiológica (bacterias, hongos, actinomicetos, formación limitada de nódulos), y son susceptibles a la degradación cuando cambian de uso, entre otras (Shoji *et al.*, 1993; Prasad and Power, 1997; Jiménez *et al.*, 2006).

Cuadro 1. Valores promedio de algunas propiedades físicas y químicas de un Acrisol (0-20 cm), determinadas en 2002. Proyecto REVOLSO. La Ciénega, Mich.

Características			
Físicas		Químicas	
Arena gruesa 2.0-0.2mm (%)	2.4	pH (1:2 en agua)	4.98
Arena fina 0.2-0.02mm (%)	5.7	Materia Orgánica (%)	2.2
Limo grueso 0.02-0.005mm (%)	6.1	Nitrógeno total (%)	0.11
Limo fino 0.005-0.002mm (%)	15.9	P-Bray (mg kg^{-1})	trazas
Arcilla <0.002mm (%)	69.9	K (mg kg^{-1})	0.13
Clase Textural (USDA)	Arcillosa	Ca (mg kg^{-1})	5.71
Densidad aparente (g cm^3)	1.12	Mg (mg kg^{-1})	2.29
		Mn (mg kg^{-1})	111.4
		Fe (mg kg^{-1})	12.21
		Zn (mg kg^{-1})	0.38
		Cu (mg kg^{-1})	0.25

Cuadro 2. Propiedades de un Andosol háplico, Ajuno, Michoacán (cuenca de Pátzcuaro).

Propiedad	Profundidad			
	0-9 cm	9-35 cm	35-55 cm	55-75 cm
Arena (%)	39	21	20	30
Arcilla (%)	12	14	17	15
Densidad aparente (g cm ⁻³)	1.0	1.0	<1.0	<1.0
pH	6.0	6.4	6.8	6.8
Materia orgánica (%)	5.7	3.2	2.0	2.0
CIC cmol kg ⁻¹	36	40	42	47
Rfosf, %	95	95	96	94
Alofano, %	13	17	26	13
Al+1/2 Fe	4.6	6.4	7.2	5.0
V V, %	10	18	12	23

CIC: Capacidad de intercambio catiónico; Rfosf: Retención de fosforo; V V: Vidrio volcánico. (Adaptado de Alcalá *et al.*, 2001).

IV.4. Problemas derivados del uso agrícola y pecuario del suelo

De acuerdo con los resultados obtenidos en la subcuenca con los Proyectos REVOLSO (Bravo *et al.*, 2006a) y SEMARNAT-2004-C01-304 (Bravo *et al.*, 2008), el 80% de la erosión se produce durante el 15-20 % de los eventos que ocurren en una temporada de lluvia. Algunos de estos eventos pueden ser responsables, por si mismos, hasta de 50% del arrastre de suelo que ocurre en un año.

El sistema de “año y vez” induce la erosión y el escurrimiento de diferentes maneras dependiendo del uso. Durante el ciclo de cultivo, el cual inicia con el establecimiento del cultivo en la segunda quincena de junio, las pérdidas de suelo ocurren desde las primeras etapas de desarrollo de la planta de maíz, porque entre el 80 y 90% de la superficie del suelo está desnuda y expuesta tanto al impacto de las gotas de lluvia como al

efecto erosivo del escurrimiento superficial. La estructura de la planta de maíz es de forma erecta y no está en contacto directo con el suelo para atenuar la energía cinética de las gotas de lluvia. De esta manera, la erosión puede incrementarse durante la época de lluvia cuando al impacto de las gotas de lluvia, se suma el efecto de goteo o chorreo canalizado a través de las hojas de maíz. Una desventaja adicional es que la separación entre plantas, favorece la formación de escorrentía la cual arrastra partículas de suelo.

Después de la recolección de grano y rastrojo de maíz, en el sistema de “año y vez” los productores permiten el acceso de los animales para que pasten los escasos residuos que quedaron en la parcela. Esta práctica favorece el retorno de C y N con el estiércol que se deposita. Este pastoreo se prolonga durante la siguiente estación de lluvia (segundo año). Con las primeras lluvias crecen y se desarrollan diversas arvenses que sirven de forraje al ganado que pasta libremente y en ocasiones rebasando, por el número de cabezas, la capacidad de agostadero. El efecto de pisoteo del ganado sobre una escasa vegetación presente y bajo una condición húmeda del suelo, promueve la compactación del terreno en determinadas áreas de la parcela, pues el ganado generalmente tiende a concentrarse en ciertas zonas del predio. Esta mayor compactación del suelo reduce la infiltración y favorece el escurrimiento de superficie, el cual se concentra y se desaloja del terreno según la topografía, ocasionando en la parcela erosión en forma de canalillos, y aguas abajo, iniciando o aumentando la erosión en cárcavas.

En el sitio con Acrisoles se observó que los volúmenes de escurrimiento superficial generados durante el año de descanso-pastoreo, bajo el sistema “año y vez”, son mayores que durante el año de cultivo, principalmente por la mayor compactación del suelo (Figura 2). Cuando ocurrió este evento (28 de junio de 2004), la cobertura vegetal fue de 76 % para el sistema de “año y vez” con manejo de descanso (AV), y de 56% y 24% para dos tratamientos con cultivo de maíz-frijol, uno llamado tradicional mejorado (TM), que incluyó labranza reducida más una cobertura al suelo con residuos de cosecha, y el segundo con manejo orgánico (TO), respectivamente (Medina, 2006).

En general, las áreas en barbecho o descanso producen incrementos desproporcionados de escurrimiento, en comparación con suelos con valores altos de conductividad hidráulica ($> 10 \text{ mm h}^{-1}$). Con base en estos resultados, se puede establecer que el manejo de “año y vez” favorece la compactación y formación de costras superficiales, ocasionados por el procesos de consolidación natural o por el pisoteo del ganado durante el año de pastoreo, lo cual reduce la infiltración y aumenta el escurrimiento, que a su vez genera erosión ladera abajo.

La mayoría de las cárcavas presentes en la sub-cuenca de Cointzio se forman sobre Acrisoles ubicados en ladera o pie de monte con uso de pastoreo (Bravo *et al.*, 2006a); estos suelos arcillosos presentan alta susceptibilidad a la erosión en cárcavas, cuando confluyen condiciones de laderas con baja cobertura vegetal y la ausencia de prácticas de conservación de suelos que atenúen el volumen y velocidad del escurrimiento que se produce aguas arriba (Figura 1).

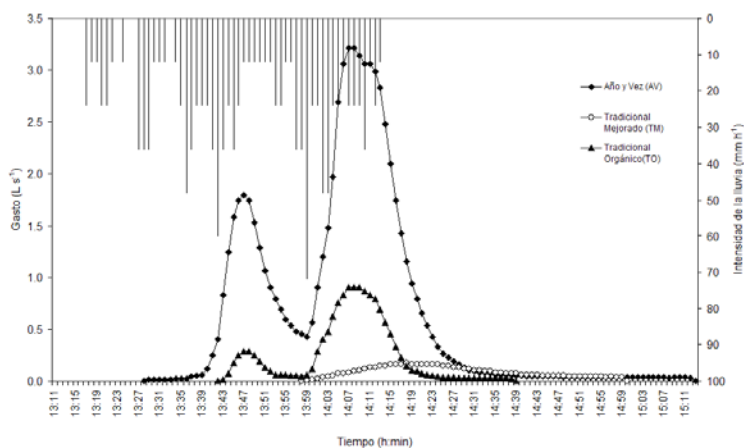


Figura 2. Hidrogramas generados bajo tres manejos del suelo durante un evento de lluvia de 22 mm. La Ciénega, Atécuaro, Michoacán.

Estudios realizados en parcelas de agricultores de la subcuenca de Cointzio, sugieren que el manejo agrícola afecta la pérdida de nutrientes por escorrentía. De acuerdo con estos trabajos, las "charandas" con manejo de "año y vez" (AV) pierden nitrógeno inorgánico y fósforo orgánico, siendo esta última hasta 10 veces mayor que la forma inorgánica; mientras que con el manejo orgánico (TO), cuya base es el uso de compostas y estiércol, se presentan menores pérdidas de nitrógeno y se induce un mayor reservorio de fósforo disponible a largo plazo gracias al papel de las formas orgánicas en el aporte de formas de fósforo lábil.

La forma inorgánica de fósforo en el suelo, que consiste de complejos de hierro y fosfatos de aluminio, está absorbida en partículas de arcilla. La solubilidad de esta forma es muy baja por el proceso de retención asociada con la acidez del suelo (< 4.5), lo que resulta en una pérdida por

lixiviación insignificante, sin embargo las mayores pérdidas ocurren por erosión hídrica selectiva la cual desprende y arrastra las partículas de arcilla en las que va absorbido el fósforo inorgánico (Griffith, 2010; Covalada, 2008).

El N existe en el suelo en dos formas generales: N-orgánico, y en forma inorgánica (nitrato y amonio). Los iones de amonio de carga positiva se unen a las partículas de suelo y los nitratos se encuentran en la solución del suelo. Las principales pérdidas de nitrógeno ocurren por lixiviación, desnitrificación, volatilización, y erosión (Feller y Beare, 1997; Zech *et al.*, 1997). Bajo las condiciones de Cointzio, las formas más comunes de pérdida de nitrógeno en Acrisoles son por erosión hídrica y volatilización (Eckert, 2010; Covalada, 2008). Considerando estos resultados y relaciones, se sugiere el uso de compostas y estiércoles para mantener la fertilidad de los Acrisoles.

En el caso de los Andosoles ó “tierra polvilla”, el manejo tradicional es el tratamiento que pierde más nitrógeno y fósforo, seguido por el manejo tradicional mejorado, el cual incluye una cobertura al suelo con residuos de cosecha. El manejo tradicional mejorado reduce significativamente las pérdidas de suelo y de escorrentía, y por ello pierde menos nutrientes que el tradicional. En estos suelos el descanso es una práctica favorable que reduce la pérdida de nutrientes.

En un análisis conjunto los Acrisoles son más susceptibles de perder nutrientes que los Andosoles, independientemente del tratamiento agronómico que se realice, y por lo tanto confirma que son los suelos más susceptibles a la degradación química, biológica y física. Con respecto a los manejos agronómicos, el tratamiento orgánico reduce la pérdida de nutrientes en ambos tipos de

suelos, asimismo reduce la cantidad de contaminantes de las aguas superficiales. Mientras que el manejo tradicional mejorado reduce en ambos suelos, las pérdidas de suelo y agua, por ello, estos dos tratamientos son una buena alternativa de manejo agrícola para estos suelos.

La actividad ganadera en la subcuenca es importante porque contribuyen a la seguridad alimenticia de la unidad familiar, mantienen la diversificación del sistema cultivo-ganado, distribuyen el riesgo, reciclan los nutrientes, proporcionan energía para la tracción de implementos y el transporte, y son activos importantes de inversión y ahorro. Se estima que en la subcuenca existen alrededor de 15 mil cabezas de ganado, de las cuales el 70% son bovinos, y el resto, principalmente ovicaprinos (SAGARPA, 2008).

En la subcuenca predominan los manejos de ganado extensivos estrechamente vinculados con la actividad agroforestal. El ganado puede pastar de manera continua los agostaderos comunales o de manera estacional cualquier predio, una vez que la cosecha se haya levantado. Los rastrojos de maíz se aprovechan permitiendo el pastoreo directo en el campo o bien que el productor recoja y almacene estos esquilmos y que se proporcionen al ganado a lo largo del periodo de secas.

En general, la calidad forrajera de los rastrojos del maíz es baja, estimándose que la materia seca posee 20% de digestibilidad y contienen cerca de 3% de proteína. Se estima que en la subcuenca de Cointzio se cultivan alrededor de 200 ha de avena de temporal, que representa el 1.5% de la superficie cultivada con avena en el estado, y cuando mas 50 ha de pastos (SAGARPA, 2008). En general se considera que existe un exceso de carga animal en los agostaderos y áreas forestales de la región, la cual

reduce la cubierta vegetal, aumenta el escurrimiento y la erosión del suelo (Bravo *et al.*, 2006b).

Con base en lo anterior, y a manera de conclusión, podemos establecer que en la subcuenca de Cointzio ocurren diversos tipos de degradación del suelo y de la cubierta vegetal los cuales resultan de la aplicación de prácticas agropecuarias y forestales inapropiadas, producto de condiciones socio-económicas de marginación, que serán tratadas en otra publicación en proceso. En los suelos de "charanda", los principales problemas son la acidez, susceptibilidad a la erosión acanalada y en cárcavas, escasa cubierta vegetal por una alta presión en los usos agrícola, pecuario y forestal, baja revegetación natural, compactación y bajos contenidos de materia orgánica que favorecen el escurrimiento, la erosión y la pérdida de nutrientes. En los suelos conocidos como "tierra polvillá" o Andosoles, los problemas son: susceptibilidad moderada a la erosión laminar, arrastre de microagregados, alta presión en uso forestal, fijación de fosfatos, acidez, encostramiento, y pérdida de la capacidad de retención de humedad lo cual afecta porque los Andosoles cuando están secos, pierden muchas de sus propiedades.

Considerando lo anterior, se hipotetiza que la degradación del suelo en la cuenca de Cointzio puede revertirse gradualmente con medidas de restauración, no solo para reducir los efectos hidrológicos aguas abajo de la cuenca sino también para recuperar y mejorar la productividad en la agricultura y aumentar la oferta de forrajes para la ganadería local, la cual es una importante fuente de ingresos.

V. ENFOQUE DE INVESTIGACION USADO

Los procesos de degradación del suelo y el manejo de los recursos naturales están fuertemente interrelacionados. La escala modifica estas relaciones. Muy pocos estudios abordan la degradación del suelo incorporando las escalas espacial y temporal, principalmente porque se requiere de infraestructura cara y periodos de investigación mayores de cinco años para obtener resultados; las fuentes de financiamiento en nuestro país sólo cubren periodos de cuando más tres años.

Para conceptualizar las relaciones entre variables físicas y de uso de los recursos y la degradación del suelo, en el presente estudio se usó un esquema de niveles jerárquicos y escalas de medición representados por las unidades de parcela, cárcava, microcuenca y cuenca (Figura 3).

Las escalas de medición para cada nivel fueron: (a) parcela: cuatro parcelas de 300 m² c/u equipadas con un sistema de aforo y captura de escurrimientos tipo Wischmeier en el sitio experimental de La Cortina (Loma Caliente) (representativo de Andosoles), y cuatro parcelas de 1000 m² c/u equipadas con vertedor y tolvas con mecanismos electrónicos en el sitio de La Ciénega (sitio representativo de Acrisoles); (b) cárcava: se trabajó en dos cárcavas representativas con manejo agrícola y de pastoreo en su cuenca de aportación, cuya extensión fue de 3 ha; (c) microcuenca: una de 313 ha en la microcuenca del Arroyo Las Cruces y otra de 944 ha en la microcuenca del Río Grande. En ambas se contó con un sistema de aforo en su salida. En el nivel de cuenca la superficie es de 675 km².

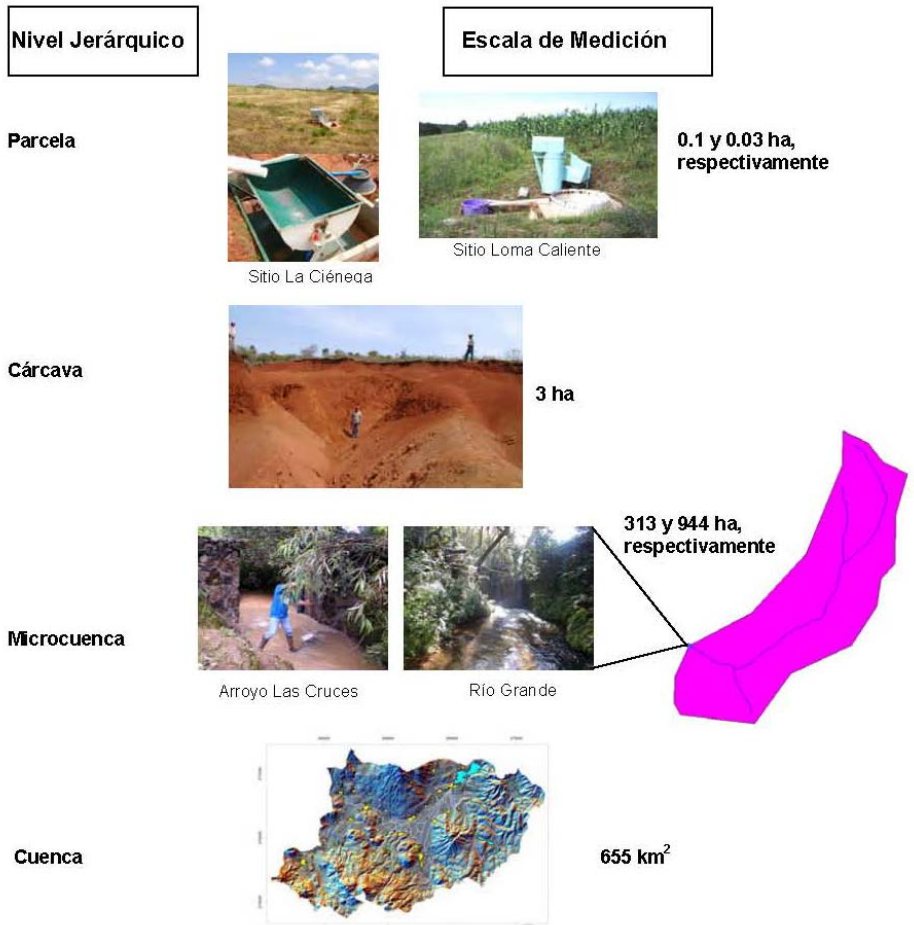


Figura 3. Esquema de investigación usado en los estudios de degradación de suelos, subcuenca de Cointzio, Mich.

VI. DESCRIPCION DE LAS TECNOLOGIAS

La restauración y el mejoramiento de las condiciones en las áreas agrícolas y de pastoreo en la subcuenca de Cointzio son una prioridad, porque estas áreas son la base para la producción a bajos costos de alimentos, forraje y ganado, y porque son áreas que potencialmente son fuentes de producción de contaminantes (sedimentos, agroquímicos) de las fuentes de agua que abastecen de este líquido para uso doméstico e industrial de la ciudad de Morelia (ejemplo la presa de Cointzio). Es importante insistir que la falta de aplicación de tecnologías agroecológicas puede aumentar la degradación de los recursos naturales y el fracaso de los sistemas agropecuarios.

Las tecnologías que se presentan a continuación contrarrestan los principales procesos de degradación que ocurren durante la producción agropecuaria en la región como son: el surcado al contorno, barreras vivas, labranza de conservación para el control de la erosión hídrica; la revegetación de taludes para la estabilización de las cárcavas; fertilización orgánica, labranza de conservación, producción de pastos para aumentar la fertilidad y la materia orgánica, y el encalado para corregir la acidez de los suelos. Varias de estas prácticas también mejoran la captación del agua de lluvia, aumentan los contenidos de humedad en el suelo, promueven el secuestro de carbón y el reciclaje de nutrientes, además generan beneficios tangibles para el productor con lo cual se abandona el esquema del control de la degradación *per se*.

VI.1. Manejo agroecológico del suelo para producir maíz

VI.1.1. Introducción

En la subcuenca de Cointzio durante las actividades de producción agrícola ocurre una periódica degradación de la cubierta vegetal y del suelo que altera y vulnera los procesos que regulan el ciclo de agua, como son la humedad del suelo y la producción de escurrimientos superficiales, los cuales amplifican la erosión del suelo, y la contaminación del agua. Estos efectos son mayores en las áreas con Acrisoles que en aquellas con Andosoles. Por ello, la producción agrícola es un proceso crítico que afecta la salud del suelo y la calidad del agua. Enseguida se describen prácticas encaminadas a reducir la degradación física, química y biológica del suelo. Estas prácticas también mejoran la calidad del agua.

VI.1.2. Manejo del agua de lluvia

El manejo del agua de escurrimiento es importante para la salud del suelo, por ello, las prácticas sostenibles para rehabilitar y mejorar los suelos bajo un uso agrícola deberán reducir, retener y controlar el escurrimiento para prevenir la degradación física, química y biológica de la capa arable. Entre las prácticas que se sugieren para un mejor aprovechamiento del agua de lluvia y para el control de la erosión en laderas destacan el surcado al contorno y las barreras vivas. Use el surcado al contorno en pendientes de hasta el 8 %, y las barreras vivas en pendientes de 8 a 20 %. A continuación se ofrece una breve descripción de estas.

Surcado al Contorno.- La dirección de siembra es un factor importante para el control de la erosión y para un mejor aprovechamiento del agua de lluvia, porque los surcos actúan como pequeñas terrazas cuando se trazan al contorno, a esta practica también se le conoce como surcado siguiendo curvas de nivel.

Para el trazo de las curvas de nivel se puede usar un nivel de péndulo o bien una manguera de albañil, además de estacas para marcar el surco guía. Para trazar este primer surco se clava una estaca en un extremo del terreno, que es el punto base y de referencia. Si se usa manguera para trazar, use una que tenga una longitud de 20 a 50 m de largo; marque en uno de los extremos de la manguera un metro libre de agua para que sirva de margen de movilidad para correr el siguiente nivel, el cual se marcará cuando coincida con el nivel de partida; ahí se coloca la segunda estaca y así se continúa hasta sacar una línea que será el surco guía. Este surco servirá para trazar varios surcos. Si el terreno está muy disparejo se pueden trazar surcos guías a cada 10 m de separación. También habrá surcos que no se trazarán completos (“cornejales”). Una vez que se tenga el surco guía, este se puede marcar con un arado de tracción animal.

Barreras Vivas. Una barrera viva es una franja o bordo angosto formado por plantas densas y erectas. Si las barreras se establecen siguiendo curvas a nivel impiden que el escurrimiento que se genera durante y después de las lluvias, se concentre y forme pequeños canalillos que después se convierten en cárcavas. En un terreno protegido con barreras, el sedimento que arrastra el escurrimiento se deposita en la parte de arriba de la barrera, y eventualmente, la faja comprendida entre dos barreras se transforma en una terraza con una pendiente

menor que la que originalmente tenía. Establecer una barrera viva es menos costoso que construir obras de conservación, especialmente las terrazas que son una forma excesivamente cara de conservación. Para mayor información sobre la construcción de barreras vivas consultar el apartado VI.6.

VI.1.3. Encalado

Los suelos de “charanda” son suelos ácidos, con valores de pH que varían de 4.9 a 5.6. En estos suelos el contenido de fósforo es muy bajo al igual que los contenidos de calcio y magnesio. Por estas características se les considera como suelos de baja fertilidad natural. El encalado es una estrategia que atenúa los problemas de la acidez, y que se sugiere aplicar en los suelos de “charanda” cada tercer año para aumentar su productividad (ver recomendaciones en el apartado VI.5).

VI.1.4. Fertilización orgánica

Los residuos orgánicos son subproductos de la actividad agropecuaria que pueden ser utilizados como fuente de nutrientes para las plantas. La reutilización de estos residuos en forma de composta mejora sus propiedades como mejorador orgánico. Diversos estudios sugieren que el uso de estiércoles y compostas en la producción agrícola, en comparación al uso de fertilizantes químicos sintéticos, tienen un menor impacto sobre el ambiente (Pimentel *et al.*, 2005; Hepperly *et al.*, 2009).

Una composta es el producto de la descomposición de residuos orgánicos por microorganismos en un ambiente aeróbico, caliente y húmedo. Este producto es un abono

orgánico con alto valor energético y nutritivo para el suelo y las plantas. En contraste un fertilizante mineral es un material que aporta sólo nutrientes para el desarrollo de las plantas (Cueto *et al.*, 2005).

Algunos los materiales que se pueden usar para su composteo son: desechos de jardín, estiércoles, rastrojos, hojarasca, sedimentos de ríos y presas, desechos agroindustriales y urbanos. Velásquez (1999) ofrece una descripción de la preparación de composta. Los pasos principales son: (1) selección de materiales, que deben ser abundantes y de fácil adquisición, por ejemplo, desechos de cultivos y estiércoles; (2) eliminar elementos indeseables, como vidrio, plásticos, telas, lámina, cartón, etc.; (3) trituración y cribado, esto para acelerar el composteo, pudiéndose hacer con un molino o picadora estacionaria procurando que los residuos queden en trozos de 1 a 2 cm para lograr una mezcla uniforme; (4) preparación para su fermentación, aquí se debe cuidar la proporción de los materiales, por ejemplo, si se usa porqueriza y residuos de cosecha se debe usar una relación de 1:1, enseguida agregar un 2% de tierra de bosque o limos de ríos como fuente de microorganismos para acelerar el proceso; se debe agregar agua, pero procurando que esta no escurra; (5) fermentación de la mezcla, que consiste en hacer montones para su maduración; un signo de la fermentación es el aumento de la temperatura en la mezcla, elevándose ésta entre los 40 y 60 °C durante la primera semana; el proceso dura entre 4 a 16 semanas dependiendo de los materiales; las manifestaciones de que la fermentación ha concluido son el descenso de la temperatura, cambio de color y un olor agradable; (6) humedad y aireación, esto significa que durante la fermentación se debe voltear y humedecer la mezcla para proporcionar oxígeno y agua a los

microorganismos para que no reduzcan su actividad. Esto se debe hacer por lo menos una vez por semana; (7) almacenamiento, esto para dejar secar a temperatura ambiente y guardar en costales para su uso en campo; (8) aplicación, esta se puede hacer antes de la siembra, sola o en mezcla con fertilizantes químicos, por ejemplo, se pueden usar 2 t ha⁻¹ de composta mezclados con el 50% del nitrógeno recomendado.

En un suelo de “charanda” se evaluaron diferentes tipos de abonos orgánicos (Cuadro 3), durante el periodo 2002-2007. Al analizar los datos de cuatro años (2002-2005) se estimó que el tratamiento manejado sólo con abonos orgánicos, sin adición de fertilizantes químicos, recibió 293 kg de P ha⁻¹, siendo la composta el abono orgánico con mayor contenido de P (1.1 %) mientras que el estiércol y la gallinaza fueron menos ricos en este elemento (0.5 y 0.4 % respectivamente). De acuerdo con este estudio, se concluyó que el uso de compostas y estiércoles inducen un mayor reservorio de fósforo disponible a largo plazo gracias al papel de las formas orgánicas en el aporte de formas de fósforo lábil. En caso de interrumpirse la fertilización fosfatada al suelo, el manejo con base en estiércoles/compostas/gallinaza podría todavía satisfacer la demanda de 3 a 5 cultivos de maíz-frijol (Covaleda, 2008).

Cuadro 3. Resultados analíticos de muestras de estiércol de bovino y composta. Proyecto REVOLSO 2002-2004.

Abono Orgánico	N %	P %	K %	Ca %	Mg, %	Fe ppm	Cu ppm	Zn ppm	Mn ppm
Composta	1.73	1.12	1.12	2.22	0.50	3674	52	363	459
Estiércol bovino	3.27	0.46	1.29	3.81	1.60	12356	33	120	ND

ND: No determinado.

VI.1.5. Labranza de conservación

En la subcuenca de Cointzio, la producción de maíz requiere de un re-enfoque que considere la rentabilidad y la conservación de los recursos naturales. En este sentido los métodos de labranza de conservación son un punto de partida para la solución de la degradación de los suelos.

La labranza de conservación es un sistema de laboreo del suelo que implica que se deje al menos 30% de los residuos de cultivo anterior sobre el suelo después de la siembra (Lal *et al.*, 1990). Bajo el concepto de labranza de conservación se tiene a la labranza reducida, labranza mínima y la labranza cero, si se deja aquella proporción del suelo cubierto por residuos de cosecha (Benites, 1992).

Con base en los resultados de los proyectos REVOLSO y SEMARNAT-2004-C01-304 desarrollados durante 2002-2007 en la subcuenca de Cointzio, se generó tecnología sobre labranza-reducida de conservación para el cultivo de maíz, la cual se recomienda tanto para suelos de “charanda” (Acrisoles) como para la “tierra polvilla” (Andosoles). Para los fines de esta publicación, la labranza reducida se refiere a un sistema que es menos intensivo que la labranza convencional. Es decir, el número de pasos de arado es menor, y por lo tanto el consumo de energía y los costos también se reducen. El término “conservación” se refiere a que en este sistema se deja una cubierta de residuos de cosecha o paja sobre el suelo, o bien esta cubierta se forma estableciendo un cultivo de cobertura, para conservar el suelo y el agua (Figura 4).

La ventaja fundamental del sistema de labranza-reducida de conservación se asocia con la cantidad de rastrojo sobre la superficie. Es decir, la magnitud de sus beneficios es proporcional al grado y espesor de la cubierta de rastrojo. En primer lugar, la presencia del rastrojo ejerce

una protección directa al suelo del efecto erosivo de las gotas de lluvia y del escurrimiento. Esto es bastante importante en la subcuenca que tiene suelos en pendiente y que, en entre junio y septiembre, recibe lluvias de alta intensidad (Savabi y Stott, 1994; Medina, 2006).



Figura 4. Uso de residuos de cosecha como cobertura del suelo en un Acrisol (“charanda”).

Otra ventaja es que la cobertura con rastrojos sobre la superficie establece una barrera que reduce la tasa a la que el agua se evapora desde el suelo. Cuanto más rastrojo haya y cuanto menos se haya movido el suelo, mayor conservación del agua se logra haciendo que la oportunidad de siembra sea mejor. Asimismo se conserva la reserva de agua del suelo para que sea aprovechada por el cultivo, especialmente en los períodos críticos como el de la canícula.

Además, al realizar menos operaciones de laboreo, hay menos mineralización de la materia orgánica lo que, junto con la reducción del consumo de combustible, hace que se emita menos CO_2 a la atmósfera. El CO_2 es uno de los

gases que producen el efecto invernadero y cualquier práctica que se pueda hacer para reducir su emisión contribuirá a controlar el calentamiento global de la atmósfera.

Para iniciar con una cubierta de residuos se puede usar la rotación avena-maíz. Así, en el segundo año, el maíz se establece sobre la “pata” de avena que es el residuo del primer cultivo de la rotación. Otra opción es dejar esparcidos de manera uniforme parte de los residuos de maíz sobre la superficie del suelo, principalmente la cañuela que generalmente los animales no la comen.

Otra alternativa es tolerar, durante el desarrollo del cultivo de maíz, la presencia de algunas plantas nativas para que actúen como cobertura del suelo, pero esta práctica exige un mayor conocimiento del manejo de arvenses y de la interacción de éstas con el cultivo. La siembra se puede hacer con arado de espuela o con sembradora especializada para labranza de conservación. Para el control de la maleza se sugiere realizar aplicaciones post-emergentes con 2 L ha^{-1} de Atrazina+Terbutrina. Estos herbicidas deben disolverse en 200 L de agua, y aplicarse en días soleados y sin viento, cubriendo totalmente la maleza.

VI.1.6. Dominios de recomendación en Acrisoles o “Charandas”

Para la subcuenca de Cointzio se generaron mapas basados en dos prácticas agrícolas de manejo de los Acrisoles (Figuras 5 y 6). Los resultados indican que el uso de la labranza-reducida de conservación en las tierras agrícolas de la subcuenca, reduciría las pérdidas de suelo a menos de 3 t ha⁻¹ año⁻¹ en el 95% de estos suelos.

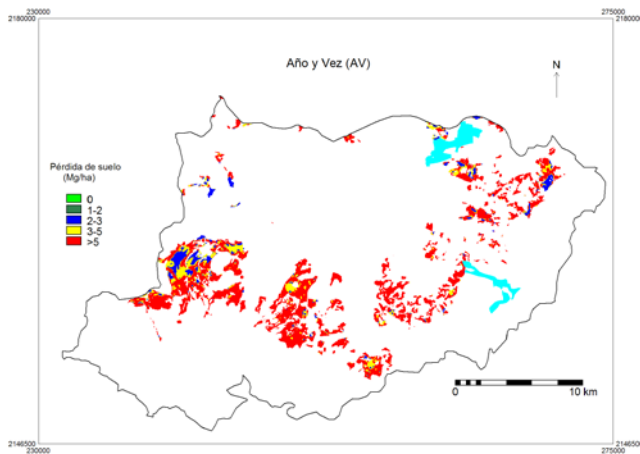


Figura 5. Degradación por erosión hídrica en Acrisoles bajo un manejo tradicional, subcuenca de Cointzio, Mich.

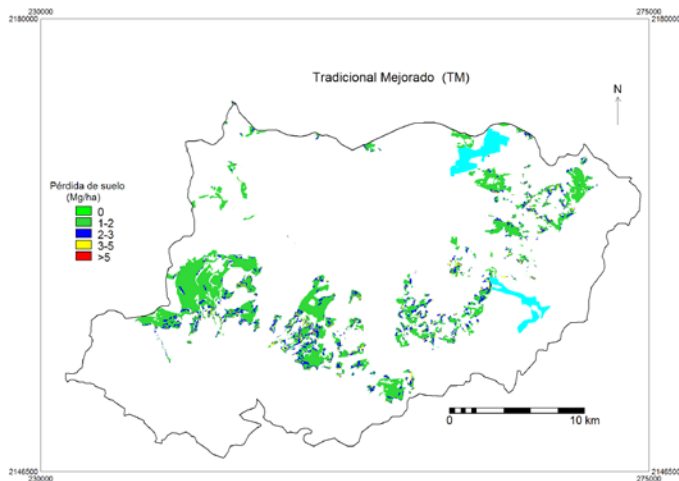


Figura 6. Restauración de Acrisoles con un manejo tradicional-mejorado de producción de maíz, subcuenca de Cointzio, Mich.

Este manejo agrícola mejorado y complementado con el control de la erosión en cárcavas disminuiría significativamente el arrastre de sedimentos a la presa de Cointzio.

VI.2. Producción de avena forrajera

VI.2.1. Introducción

La avena es un cultivo que prospera bien en ambientes agrícolas marginales donde otros cultivos reducen su producción o ésta es nula (González *et al.*, 2007). Esta ventaja aunada a la demanda de forraje son las razones que apoyan la siembra de avena en áreas degradadas de

la subcuenca de Cointzio. Las recomendaciones que se sugieren son producto de la experiencia desarrollada en la subcuenca con los proyectos de investigación ya mencionados, y también de información reportada en el folleto para productores escrito por González *et al.* (2004).

Con base en los estadísticas municipales se estima que en la subcuenca de Cointzio se cultivan alrededor de 200 ha de avena de temporal, que representa menos del 2 % de la superficie cultivada en el estado y cuando más 50 ha de pastos (SAGARPA, 2008).

Considerando la importancia de la avena en la restauración de suelos, se sugiere establecer su cultivo en aquellas áreas donde se cultiva maíz para aprovechar los residuos de avena en la rotación con maíz para implementar el sistema de labranza de conservación mencionado en el capítulo anterior (Figuras 5 y 6); asimismo, se sugiere la siembra de avena en aquellas áreas con riesgo potencial para la formación de cárcavas (Figura 7).

VI.2.2. Formación de melgas al contorno

Para reducir la erosión del suelo que se presenta con mayor intensidad al inicio de la temporada de lluvias, se sugiere el trazo y formación de bordos en forma perpendicular a la pendiente siguiendo curvas de nivel, y de esta manera entre bordos se tienen melgas al contorno. Esta práctica se recomienda para laderas con menos de 10% de pendiente para favorecer la retención y conservación de una mayor cantidad de humedad en el suelo. Para pendientes entre 10 y 20% se sugiere formar en los bordos barreras vivas (ver apartado VI.6).

Entre los bordos se sugiere efectuar un rastreo al inicio del temporal para la captación de lluvia, y para facilitar la emergencia de las plantas y la penetración de las raíces. Para tapar la semilla y fertilizantes químicos y orgánicos, si éstos se distribuyeron al voleo, se recomienda un paso de rastra, el cual además elimina la maleza inicial.

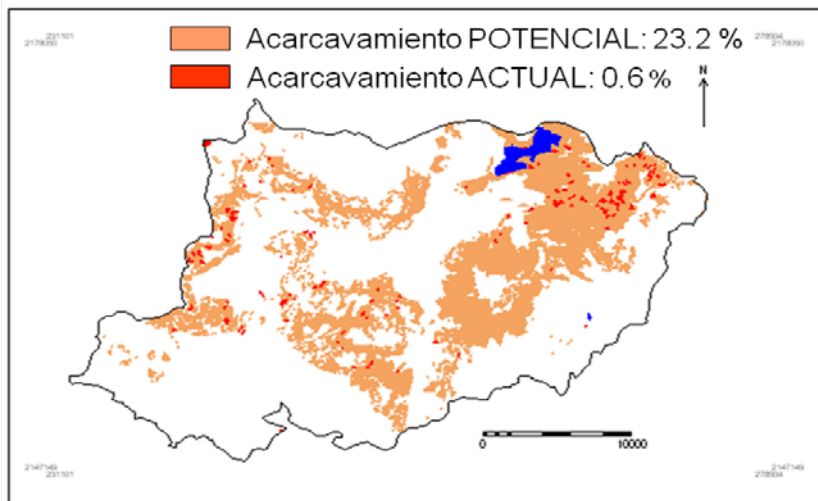


Figura 7. Mapa de erosión en cárcavas (actual y potencial) en la subcuenca de Cointzio.

VI.2.3. Descripción de variedades

Las variedades de avena que siembra el productor como la Chihuahua y Cuauhtémoc son afectadas por la roya del tallo, la cual causa reducciones en el rendimiento de grano y forraje hasta en el 50%. Además, el forraje de las plantas dañadas por la roya es de mala calidad para el ganado. Las variedades de avena recomendadas para la subcuenca de Cointzio, son las siguientes.

Cevamex. Es una variedad de avena que prospera bien en suelos delgados y tiene un comportamiento regular en condiciones de sequía. Es moderadamente resistente a la roya, si se compara con las variedades Chihuahua y Cuauhtémoc, que tradicionalmente siembra el productor de la subcuenca de Cointzio. Es una variedad adecuada para la producción de forraje verde ó henificado y para grano bajo temporal. Requiere de 120 a 140 días para llegar a madurez fisiológica. Es de porte alto (109 a 145 cm), tiene buen amacollamiento, pero es moderadamente susceptible al acame. Para reducir el acame se sugiere usar una cantidad de semilla no mayor de 100 kg ha⁻¹ y no aplicar más de 40 kg ha⁻¹ de nitrógeno. Produce hasta 4.5 t ha⁻¹ de grano y alrededor de 13 t ha⁻¹ de forraje henificado (González *et al.*, 2004). La semilla de esta variedad se produce en el municipio de Copándaro, Mich.

Saia. Esta variedad de avena es muy tolerante a la sequía y se adapta bien a suelos delgados y ácidos, como los suelos de “Charada” (Acrisoles) y “tierra polvilla” (Andosoles), donde es una excelente opción para la producción de forraje verde o henificado bajo temporal. Produce poco grano (2 t ha⁻¹), el cual es de color negro. Es resistente a la roya de la hoja, pero es muy susceptible al acame. Es de ciclo largo (140 a 170 días a madurez fisiológica) y de porte alto (120 a 160 cm). Para reducir el acame se recomienda utilizar 80 kg ha⁻¹ de semilla al momento de la siembra y no aplicar más de 40 kg ha⁻¹ de nitrógeno (dos bultos de urea). Rinde hasta 13.5 t ha⁻¹ de forraje henificado (González *et al.*, 2004). La semilla de esta variedad se produce en el Valle de Toluca.

VI.2.4. Época de siembra

La elección de una buena fecha de siembra evita el riesgo de heladas ó excesos de humedad. Para la producción de forraje la mejor fecha se siembra abarca la segunda quincena de julio, y para la producción de grano, la primera quincena de julio.

VI.2.5. Densidad de siembra

La densidad de siembra depende del método de siembra, calidad de la semilla y de la variedad. Si la siembra se realiza al voleo con semilla certificada de la variedad Cevamex y con un valor de germinación mayor de 90%, usar de 100 a 120 kg de semilla por hectárea. Para la variedad Saia, por su tamaño de semilla y para evitar problemas de acame, se sugieren 80 kg por hectárea de semilla.

VI.2.6. Método de siembra

Como se mencionó anteriormente (formación de melgas al contorno) se recomienda trazar y construir bordos siguiendo curvas de nivel sí su terreno tiene una pendiente menor del 8%, pero si ésta es mayor (10-20%) se recomienda formar barreras vivas. La siembra se puede realizar en forma manual “al voleo” ó con maquinaria voleadora. En siembras al voleo se sugiere dividir la parcela en “vezanas” más o menos iguales, para facilitar una distribución uniforme de la semilla y fertilizantes. La semilla debe quedar a una profundidad de 4 a 6 cm.

VI.2.7. Fertilización

Los suelos degradados son deficientes en materia orgánica y en nutrientes, por lo cual se requiere, principalmente durante el establecimiento de la aplicación de estiércol o del suministro de nitrógeno y fósforo para obtener buenos rendimientos. Se recomienda la dosis 60-40, que equivale a 100 kg de 18-46 por hectárea al momento de la siembra, y los restantes 100 kg de urea en el amacollo que ocurre a los 40 días después de la siembra. Si se aplican compostas o estiércoles, se sugiere revisar el rubro de fertilización orgánica en el capítulo relacionado con la producción de maíz.

VI.2.8. Control de maleza

La maleza compite por nutrientes, agua y luz con el cultivo, pero también aportan diversos beneficios: protegen al suelo de la erosión, pueden ser utilizadas como forraje verde, albergan fauna silvestre, sirven de plantas trampa para plagas, entre otros, por ello su control debe realizarse solo durante el periodo crítico de competencia, que para el caso de gramíneas abarca 30 días después de la siembra. Si se tienen infestaciones altas de maleza, se sugiere de manera permanente y continua tomar medidas preventivas como usar semilla limpia, aumentar la densidad de siembra, compostear el estiércol, modificar la época de siembra, y realizar rotaciones de cultivo. El método químico debe ser complementario y realizarse el menor número de veces posible hasta eliminarlo por completo (Guzmán y Alonso, 2001).

Para el control químico del acahual, mostaza, quelite y rabanillo se puede aplicar de 1.0 a 1.5 L ha⁻¹ de 2-4 D

Amina o Focus en una dosis de 0.75 a 1.0 L ha⁻¹. La época de aplicación es al amacollamiento (30 días después de nacido el cultivo). Estos herbicidas deben disolverse en 200 L de agua, y aplicarse en días soleados y sin viento, cubriendo totalmente la maleza.

VI.3. Producción de forraje de pasto llorón (*Eragrostis curvula*)

VI.3.1. Introducción

Es una gramínea nativa del sur de África, que fue introducida a Chihuahua en la década de los 60's. Algunos autores lo reportan en Coahuila, Estado de México, Sinaloa, Michoacán y Tlaxcala (Villaseñor y Espinosa, 1998; Hanan *et al.*, 2005; UGRJ, 2008).

Es un zacate perenne, amacollado, que puede alcanzar una altura de 1.5 m. Presenta tallos, a veces ramificados, con raíces en los nudos inferiores. Tiene raíces que penetran hasta 60 cm que le permiten retener reservas nutricionales. Las hojas son alternas, dispuestas en dos hileras sobre el tallo y con venas paralelas. Cada hoja está dividida en dos porciones, la primera llamada vaina, que envuelve al tallo, más corta que el entrenudo; la otra porción, es la lámina la cual es larga, angosta y enrollada. Entre la vaina y la lámina, por la cara interna, se presenta una franja con abundante vellosidad, llamada lígula. La inflorescencia es una panícula abierta de hasta 40 cm de largo, ubicada en la punta del tallo, compuesta de numerosas espigas ascendentes y distanciadas entre si, la cual con frecuencia presenta glándulas. En cada espiga se disponen numerosas espiguillas; estas son sésiles y

comprimidas lateralmente. Las flores son muy pequeñas y se encuentran cubiertas por brácteas sin arista. La semilla está fusionada a la pared del fruto.

Es importante mencionar que este pasto crece del centro hacia las orillas. Cada tallo amacolla con lo cual se expande la mata, pero los tallos no son permanentes, pues los más viejos mueren si no hay pastoreo, corte o quema de ellos; si esto último no ocurre, lo que se observará es el crecimiento de tallos sólo en la parte externa, porque los del centro estarán muertos. Los tallos muertos ya no amacollan, resultando una planta decadente con pocos tallos sólo en el anillo exterior, que requerirá su renovación, a través de un pastoreo intenso, quema o varios pasos de rastra; la efectividad de estas prácticas dependerá de la edad y de la densidad de las plantas (Dahl y Cotter, 1984; Dahl *et al.*, 1986).

VI.3.2. Áreas de adaptación

Se desarrolla muy bien en ambientes con altitudes que varían de 1500 a 2350 msnm. No es recomendable su cultivo por arriba de los 2450 m o por debajo de los 500 msnm. El crecimiento óptimo de esta especie ocurre con temperaturas medias anuales entre 11 y 19 °C; sin embargo, la producción es afectada cuando las temperaturas sobrepasan los 22 °C o disminuyen por debajo de 4 °C.

En el caso de praderas de temporal, el pasto llorón requiere una precipitación mayor de 700 mm al año (Medina *et al.*, 2001). Tolera muy bien los suelos ácidos (Acrisoles y Andosoles). Es un pasto que produce una gran cantidad de forraje si se le compara con los pastos nativos.

Además de aportar forraje, contribuye a la estabilidad y conservación de los suelos particularmente en áreas degradadas. Entre sus principales ventajas figura su alta tolerancia a la sequía y al frío invernal, soporta el pisoteo con un buen manejo del pastoreo y rebrota rápidamente después del corte o pastoreo; además, prospera muy bien en "tierra polvilla" (Andosoles) y en "charandas" (Acrisol), con pH muy ácidos (4.5), con baja fertilidad y erosionados; también se le puede usar para la revegetación de taludes de cárcavas con el fin de detener la erosión, como se describe más adelante.

VI.3.3. Establecimiento

En zonas de escasa y errática precipitación, con el trazo y la construcción de bordos siguiendo curvas de nivel y el surcado profundo tipo lister, se logra retener el escurrimiento y conservar mayor cantidad de humedad en el suelo, obteniendo un mejor establecimiento de este pasto.

También la captación del escurrimientos durante la época de lluvia y utilizarla de manera controlada como fuente de abrevadero durante la época de estiaje, es una opción que se logra con la construcción de ollas o bordos de almacenamiento de agua. Tomar en cuenta que deben diseñarse bajo técnicas ingenieriles, considerando elementos como, seguridad y estabilidad de la obra, fuentes de recolección de agua (microcuenca), así como vertedor para drenar y controlar los niveles máximos de agua. El siguiente sitio web presenta las recomendaciones para la construcción de estas obras: <http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/>

Documents/fichasCOUSSA/Ollas%20de%20agua.pdf
(SAGARPA-CP, 2010).

La preparación del suelo se sugiere iniciarla con un barbecho a una profundidad de 30 cm y uno paso de rastra. Considerar que si la capa superficial está libre de terrones, más rápido se establecerán las plantas.

Realizar la siembra una vez que se establezca el temporal. En la cuenca el periodo donde las lluvias se establecen de manera regular es a partir de la última semana de junio. Para el establecimiento bajo temporal es muy importante que ocurra un patrón de lluvias regular durante los primeros días después de la siembra. Por ejemplo, dos lluvias ligeras en los dos días consecutivos a la siembra es suficiente para asegurar una buena emergencia, que una lluvia de 1.5 mm seguida por cuatro días sin lluvia. Además, la humedad del suelo se debe mantener durante la primera semana después de la emergencia, para asegurar la sobrevivencia de las plántulas. Por lo tanto, se debe sembrar cuando el periodo de lluvias esté establecido, para asegurar humedad en el suelo durante la emergencia y post-emergencia.

VI.3.4. Variedades

En las Uniones Ganaderas y en casas comerciales es factible encontrar semilla de este zacate en sus variedades Común, Morpa y Ermelo; se recomienda usar cualquiera de estas dos últimas, ya que comparadas con la variedad Común, resultan ser más palatables para el ganado, su forraje permanece verde por períodos más prolongados aún bajo condiciones de escasa humedad en el suelo y baja temperatura ambiental, además de rebrotar más

rápida mente después del pastoreo. El INIFAP produce semilla de pasto llorón en el Sitio Experimental de Vaquerías, Jal.

VI.3.5. Cantidad de semilla y método de siembra

Se sugiere usar 4 kg por hectárea de semilla pura viable (SPV) de pasto llorón. La calidad de las semillas está determinada por los porcentajes de germinación y de pureza, y se expresa como porcentaje de semilla pura viable (SPV). Por ejemplo, si las características de la semilla comercial son: 90% de germinación y 70 % de pureza, entonces la calidad de esta semilla es de 63 % de SPV. Por lo tanto, se requieren 6.350 kg de semilla comercial por hectárea.

La siembra se hace tirando la semilla al voleo sobre el terreno rastreado. Para facilitar una buena distribución habrá que revolver la semilla con 50-60 kg ha⁻¹ de arena. Se tapa la semilla con una rastra de ramas procurando que la semilla no quede enterrada a más de 6 mm de profundidad.

VI.3.6. Fertilización

El pasto llorón es de bajo requerimiento de fertilizantes a los cuales responde bien. Se recomienda la aplicación de la dosis de 40-40-0 aplicado al voleo. Considerando el lento desarrollo inicial del pasto llorón, es recomendable aplicar el fertilizante una vez que esté establecido el pasto, para evitar la competencia con la maleza en las primeras etapas del desarrollo.

VI.3.7. Control de maleza

Es más importante el control de maleza después de la emergencia del pasto, que aplicar medidas de control antes de la emergencia del pasto. Se sugiere realizar un manejo de la maleza considerando diversas prácticas como las mencionadas para el control de maleza en avena, y usar el control químico cada vez menos hasta eliminar su uso.

Durante el establecimiento del pasto suelen aparecer hierbas de hoja ancha, para su control en esta etapa, y cuando la maleza no haya crecido más de 10 a 15 cm de altura se puede aplicar de 1.5 a 2 L ha⁻¹ de 2,4-D amina disueltos en 200 L de agua.

VI.3.8. Utilización y manejo de la pradera

Se pueden obtener más de 2.5 t ha⁻¹ de materia seca por año. La mejor forma de utilización de este forraje es mediante el pastoreo directo utilizando la carga animal que pueda soportar la pradera. También se puede cortar para henificar, pero se prefiere el pastoreo directo porque tiene mayores beneficios edáficos y ambientales. El primer año se recomienda un pastoreo moderado. Este zacate se considera de buena calidad, pues su contenido de proteína en verano puede alcanzar valores de 12 ó 13%, sin embargo, en invierno o bajo sequía su calidad se reduce, ya que su contenido varía del 4 al 6%. A continuación se sugieren algunas reglas básicas para el manejo de una pradera ya establecida.

1. Fertilizar con nitrógeno al menos dos veces al año, la primera al inicio de las lluvias (junio) y la segunda

en agosto, aplicando de 30 a 40 kg ha⁻¹ de nitrógeno (65 a 85 kg ha⁻¹ de urea) cada vez.

2. Mantener las hojas del pasto jóvenes y con alta calidad, procurando hacer el pastoreo o el corte de manera rápida (2-5 días); todas las plantas deberán ser pastoreadas a una altura no menor de 10 cm y enseguida retirar el ganado.
3. Procurar que el pastoreo no ocurra por manchones, sino que deberán pastorearse todas las áreas del potrero. En verano cada 21 días se puede cortar o pastorear.
4. Los rebrotes de otoño (oct-nov) se pueden pastorear y también las plantas en etapa de dormancia (invierno). Si los rebrotes de otoño no se pastorean, esto favorecerá la acumulación de energía en tallos y raíces, lo que aumentará la resistencia de la planta a las heladas y se promoverá un buen crecimiento en la primavera siguiente. Si no se pastorea la planta en dormancia, entonces se debe cortar o quemar el pasto de manera controlada antes de la primavera (principios de marzo), para remover el forraje seco y tosco, característico de este zacate, y permitir el rebrote o rejuvenecimiento de la pradera. Si usa la quema deberá contar con gente experimentada, construya brechas contrafuego de 3 a 4 m para evitar accidentes, y considere la velocidad y dirección del viento.
5. El primer rebrote de primavera se debe pastorear una vez que las hojas alcancen una longitud mínima de 15 cm.

VI.4. Producción de forraje de zacate rhodes (*Chloris gayana*)

VI.4.1. Introducción

Es una gramínea nativa de África con amplia distribución en el norte, centro y sur de nuestro país. Se le conoce también con el nombre de zacate gordura. Es perenne, estolonífero, amacollado, que alcanza una altura no mayor de 1.7 m. El tallo es glabro, algunas veces ramificado y con los nudos comprimidos. La vaina foliar mide de 4.5 a 14.5 cm de largo, es villosa o escabrosa en el ápice, las superiores más cortas que los entrenudos y con los márgenes sobrepuestos; la lígula es membranosa, ciliada, de 0.4 a 0.6 mm de largo, villosa en el dorso y a veces en los extremos; la lámina es aplanada, escabrosa, mide de 30 a 55 cm de largo por 5 a 10 mm de ancho, generalmente villosa detrás de la lígula. La inflorescencia mide de 12 a 30 cm de largo, las espigas de 7.5 a 10.5 cm de largo, ascendentes, con la edad divergentes, a veces levemente falcadas (en forma de hoz), distribuidas en 1 ó 2 verticilos con una a varias espigas adicionales por arriba o por abajo (Perdomo y Vibrans, 2005).

VI.4.2. Áreas de adaptación

El zacate rhodes se adapta muy bien a regiones con altitudes que varían de 1000 a 2200 msnm. No es recomendable su cultivo por arriba de los 2500 m o por debajo de los 300 msnm. La mayor producción se obtiene en ambientes con temperatura media anual de 18 a 25 °C, sin embargo, el rendimiento se reduce significativamente si ésta es mayor de 28 °C, o si es menor de 12 °C. Para praderas bajo temporal requiere una lluvia anual mayor de 600 mm (Medina *et al.*, 2001).

El pasto rhodes es una opción en la rehabilitación de suelos porque favorece la formación de agregados y aumenta el contenido de materia orgánica en tepetates roturados (Velázquez *et al.*, 2001). En un estudio realizado en suelos degradados por erosión hídrica de San Miguel Tlaixpan, Estado de México, el pasto rhodes superó en un 25 % el rendimiento de un pasto nativo (*Hilaria cenchroides*), alcanzando un rendimiento de materia seca acumulado de cinco cortes de 10.3 t ha^{-1} (Betancourt *et al.*, 2001). Jiménez (1993) reportó rendimientos en materia seca de pasto rhodes entre 5 y 15 t ha^{-1} (5 cortes). En Michoacán en el primer año, la variedad Katembora acumuló 73.77 t ha^{-1} de materia verde y en el segundo año mostró una producción de 19.2 t ha^{-1} de forraje seco (Hernández, 1993). En el Campo Experimental Clavellinas (INIFAP, Jalisco), bajo temporal el pasto rhodes rindió 22.0 t ha^{-1} de forraje verde con un contenido de 8.0% de proteína (UGRJ, SF)

VI.4.3. Establecimiento

En zonas de escasa y errática precipitación, con el trazo y la construcción de bordos a curva de nivel y el surcado profundo tipo lister, se logra retener el escurrimiento y conservar mayor cantidad de humedad en el suelo, obteniendo un mejor establecimiento de este pasto.

La captación de escurrimientos durante la época de lluvia y utilizarla de manera controlada como fuente de abrevadero durante la época de estiaje, es una opción que se logra con la construcción de ollas o bordos de almacenamiento de agua. Tomar en cuenta que deben diseñarse bajo técnicas ingenieriles, considerando elementos como,

seguridad y estabilidad de la obra, fuentes de recolección de agua (microcuenca), así como vertedor para drenar y controlar los niveles máximos de agua. En el siguiente sitio web se pueden consultar las recomendaciones para su construcción: <http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/Documents/fichasCOUSSA/Ollas%20de%20agua.pdf>

Se sugiere realizar la preparación del suelo con un barbecho a una profundidad de 30 cm y uno paso de rastra. Si la capa superficial está libre de terrones, más rápido se establecerán las plantas.

Realizar la siembra una vez que se establezca el temporal. En la cuenca el periodo donde las lluvias se establecen de manera regular es a partir de la última semana de junio. Para el establecimiento bajo temporal es muy importante que ocurra un patrón de lluvias regular durante los primeros días después de la siembra. Por ejemplo, dos lluvias ligeras en los dos días consecutivos a la siembra es suficiente para asegurar una buena emergencia, que una lluvia de 1.5 mm seguida por cuatro días sin lluvia. Además, la humedad del suelo se debe mantener durante la primera semana después de la emergencia, para asegurar la sobrevivencia de las plántulas. Por lo tanto, se debe sembrar cuando el periodo de lluvias esté establecido, para asegurar humedad en el suelo durante la emergencia y post-emergencia.

VI.4.4. Variedades

En las oficinas de Uniones Ganaderas y en casas comerciales, se puede encontrar semilla de las variedades Común, Bell, Katembora y Pokott.

VI.4.5. Cantidad de semilla y método de siembra

Se sugiere usar de 2 a 3 kg por hectárea de semilla pura viable (SPV) de pasto Rhodes. La calidad de las semillas está determinada por los porcentajes de germinación y de pureza, y se expresa como porcentaje de semilla pura viable (SPV). Por ejemplo, si las características de la semilla comercial son: 90% de germinación y 70 % de pureza, entonces la calidad de la semilla es de 63 % de SPV. Por lo tanto, se requieren de 3.2 a 4.8 a kg de semilla comercial por hectárea.

La siembra se hace tirando la semilla al voleo sobre el terreno rastreado. Se tapa la semilla con una rastra de ramas procurando que la semilla no quede enterrada a más de 1 cm de profundidad.

VI.4.6. Fertilización

El pasto rhodes responde bien a los fertilizantes. Se sugiere la aplicación de la dosis de 40-40-0 aplicado al voleo. Es recomendable aplicar el fertilizante una vez que esté establecido el pasto, para evitar la competencia con la maleza en las primeras etapas del desarrollo.

VI.4.7. Control de maleza

Es más importante el control de maleza después de la emergencia del pasto, que aplicar medidas de control antes de la emergencia del pasto. Se sugiere realizar un manejo de la maleza considerando diversas prácticas como las mencionadas para el control de maleza en avena,

y usar el control químico cada vez menos hasta eliminar su uso.

Durante el establecimiento suelen aparecer hierbas de hoja ancha, para su control en esta etapa se recomiendan de 1.5 a 2 L ha⁻¹ de 2-4-D amina.

VI.4.8. Utilización y manejo de la pradera

Se pueden obtener más de 4.5 t ha⁻¹ de materia seca por año. La mejor forma de utilización de este forraje es mediante el pastoreo directo, utilizando la carga animal que pueda soportar la pradera. También se puede cortar para henificar. El primer año se recomienda un pastoreo moderado. Este zacate se considera de buena calidad, pues su contenido de proteína en verano puede alcanzar valores de 8 a 10 %. A continuación se sugieren algunas reglas básicas para el manejo de una pradera ya establecida.

1. Fertilizar con nitrógeno al menos dos veces al año, la primera al inicio de las lluvias (junio) y la segunda en agosto, aplicando de 30 a 40 kg/ha de nitrógeno (65 a 85 kg/ha de urea) cada vez.
2. Mantener las hojas del pasto jóvenes y con alta calidad, procurando hacer el pastoreo o el corte de manera rápida (2-5 días); todas las plantas deberán ser pastoreadas a una altura no menor de 10 cm y enseguida retirar el ganado.
3. Procurar que el pastoreo no ocurra por manchones, sino que deberán pastorearse todas las áreas del potrero.

4. El primer rebrote de primavera se debe pastorear una vez que las hojas alcancen una longitud mínima de 15 cm.

VI.5. Encalado de Acrisoles o “Charandas”

VI.5.1. Introducción

En México, los suelos ácidos ocupan una superficie de poco más de 13.1 millones de hectáreas. En general, éstos contienen un alto porcentaje de saturación con aluminio, lo que reduce la disponibilidad de fósforo para las plantas. El exceso de aluminio intercambiable presente en el suelo puede disminuirse con la aplicación de productos encalantes, o con la aplicación de roca fosfórica; aquí se recomienda solamente la aplicación de carbonatos o cal agrícola porque es más barato su uso que el de la roca fosfórica.

Este trabajo tiene por objeto servir de guía para el uso de fuentes de cal agrícola para reducir la acidez de los Acrisoles o de “charanda” y así favorecer su balance nutrimental y coadyuvar al logro de rendimientos satisfactorios.

El encalado tiene un efecto múltiple sobre diferentes características químicas, físicas y microbiológicas del suelo: (a) inactiva el aluminio intercambiable, (b) disminuye la retención de fósforo, (c) reduce las deficiencias de calcio, magnesio o molibdeno, (d) mejora la actividad microbiológica, principalmente la de bacterias, y (e) eleva el intercambio catiónico. Existen trabajos que documentan beneficios del encalado en la agregación de partículas,

principalmente cuando la fuente de cal presenta un bajo contenido de magnesio del encalado lo cual puede disminuir la erosión del suelo (Norton *et al.*, 2003). En este caso los autores mencionaron que la erosión del suelo ocurre porque la lluvia posee un bajo contenido de electrolitos y al combinarse con el suelo ésta reacciona y demanda iones de calcio, sodio, etc., y con ello dispersa las arcillas, favoreciendo así la erosión del suelo.

Se estima que en la cuenca del Lago de Cuitzeo los Acrisoles ("charanda") abarcan alrededor del 9% de la superficie total la cual comprende 4,000 km². Los suelos de "charanda" de la subcuenca de Cointzio presentan las características físico-químicas en la capa superficial (20 cm de profundidad) que se describen en el Cuadro 5.

En la subcuenca de Cointzio, ubicada en la porción sur de la cuenca del Lago de Cuitzeo, Michoacán, se realizó un trabajo de investigación sobre degradación del suelo durante 2002-2007. Como resultado de los estudios edafológicos se determinó que los suelos de "charanda", presentan un valor de pH de 5.0, que indica su acidez (Cuadro 5).

VI.5.2. Material para encalado

En este trabajo se entiende como cal agrícola cualquier material que neutralice la acidez del suelo y que contenga calcio o magnesio. En lo sucesivo se manejará indistintamente el término cal agrícola o material encalante. El material de encalado debe presentar buena velocidad de disolución y reacción con el suelo.

Entre los materiales más empleados para encalar se encuentra el carbonato de calcio (CaCO_3) finamente molido. En el trabajo de campo realizado se observó que con el CaCO_3 utilizado, la mayor diferencia de pH se produjo en los primeros 10 cm de profundidad, seis meses después de la aplicación de 5 t ha^{-1} del producto (Cuadro 6). El material utilizado fue una fuente de CaCO_3 con pureza de 97% derivado de mármol, con finura de malla de 325 y con un precio en bodega de \$ 500.00 (precio por tonelada al 16 de Junio de 2008).

El productor puede utilizar carbonato de calcio, cal viva (óxido de calcio) o cal apagada (hidróxido de calcio). La recomendación es que utilice la fuente más barata y más cercana. También es importante que el tamaño de partículas del material encalante sea lo más pequeño posible, pues cuanto menor es el tamaño de los gránulos, mayor es la velocidad de disolución dada su mayor superficie de contacto.

Cuadro 5. Características físico-químicas de un Acrisol ("Charanda"), La Ciénega, Atécuaro, Mich.

Característica	Resultado	Interpretación
Textura,%	39% arcilla, 21% limo	Franco arcilloso
pH	5.0	Acido
Densidad aparente	1.14	
Materia orgánica, %	2.2	Medio
Nitrógeno total, %	0.11	
Fosforo-Bray, ppm	11.0	Bajo
Potasio, ppm	55.0	Deficiente
Calcio, ppm	1093.0	Moderadamente bajo
Magnesio, ppm	269.0	Medio
Manganeso, ppm	116.0	Excesivo
Zinc, ppm	0.3	Bajo
Hierro, ppm	13.0	Moderadamente alto

Cuadro 6. Respuesta de un Acrisol ("Charanda") a la aplicación de carbonato de calcio (5 t ha^{-1})

		Antes		Después	
Profundidad del suelo (cm)		0-10	10-15	0-10	10-15
Reacción del Suelo (pH)		4.69	4.95	5.94	5.10

VI.5.3. Aplicación del encalado

En suelos de "charanda" con pH menores de 5.5 se sugiere aplicar algún producto encalante. En el sistema de "año y vez" se sugiere aplicar el material encalante durante octubre-noviembre cuando comúnmente se hace la preparación del suelo. En sistemas de siembra continuos aplíquese la cal inmediatamente después de levantar su cosecha. La humedad residual facilita la disolución de la cal. Distribuir al voleo 5 t ha^{-1} del material encalante o bien fraccione de la siguiente manera, 3 t ha^{-1} en el primer año y 2 t en el tercero. Es importante que la distribución del material sea uniforme. Inmediatamente después incorporar la cal con un barbecho y un paso de rastra a una profundidad de 15 a 20 cm (Figura 8). Es importante que el material encalante quede en contacto íntimo con el suelo. Al inicio del temporal se sugiere realizar las operaciones de campo según el cultivo que se desee sembrar.



Figura 8. Incorporación de la cal con un paso de rastra.

Cuándo encalar de nuevo? Eso dependerá de varios factores. El único camino seguro para determinar cuando un terreno debe volverse a encalar, es realizar el análisis del suelo. Se recomienda consultar a los técnicos del INIFAP o de la SAGARPA para ello.

VI.6. Barreras vivas para reducir la erosión y conservar el agua

VI.6.1. Introducción

Las cuencas de los Lagos de Cuitzeo, Pátzcuaro, Zirahuén, en el Estado de Michoacán, presentan un relieve con pendientes pronunciadas; los ambientes de sierra y lomeríos abarcan más del 60 por ciento del área de las cuencas. En estos escenarios se combina la producción de maíz y el libre pastoreo de ganado en el sistema conocido como "año y vez", en el cual durante el año de uso agrícola se pierden más de 3 t ha^{-1} de suelo y la productividad es

menor de 1.8 t ha^{-1} de grano de maíz. En el año de descanso, además se generan grandes escurrimientos que por su escaso control también causan erosión de manera considerable. Una de las principales causas del deterioro en el sistema es un manejo del suelo que no involucra de manera consistente prácticas de conservación.

El Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) realiza diversas investigaciones para el manejo integral de los recursos naturales en cuencas hidrológicas de montaña, que ayudan al manejo sostenible del suelo y disminuyen el uso de prácticas agrícolas y de pastoreo inadecuadas y el mal uso de incentivos.

Como resultado de estas actividades de investigación, se desarrollaron prácticas que no sólo conservan el suelo y agua sino que ofrecen beneficios adicionales en zonas propensas a la degradación del suelo (Bravo *et al.*, 2005). La tecnología de barreras vivas (TBV) conlleva este interés pues incrementa el rendimiento de maíz, previene y reduce la erosión y las pérdidas de nitratos, controla el escurrimiento y proporciona un beneficio adicional dependiendo de la especie usada como barrera. Además, comparada con la construcción de terrazas, las barreras son baratas, fáciles de establecer y ocupan menos de 10 por ciento de la superficie total del terreno.

El propósito de este trabajo es presentar las principales sugerencias para aplicar la TBV en ambientes de ladera de las cuencas mencionadas.

Una barrera viva es una franja angosta formada por plantas densas y erectas. Por extensión, cuando se usa una combinación de plantas y materiales inertes, como

piedras o llantas de desecho para formar la barrera, entonces se tiene una barrera biofísica. Si las barreras se establecen siguiendo curvas a nivel impiden que el escurrimiento que se genera durante y después de las lluvias, se concentre y forme pequeños canalillos que después se convierten en cárcavas (Dabney *et al.*, 1993).

En un terreno protegido con barreras, el sedimento que arrastra el escurrimiento se deposita en la parte de arriba de la barrera, y eventualmente, la faja comprendida entre dos barreras se transforma en una terraza con una pendiente menor que la que originalmente tenía (Figura 9).

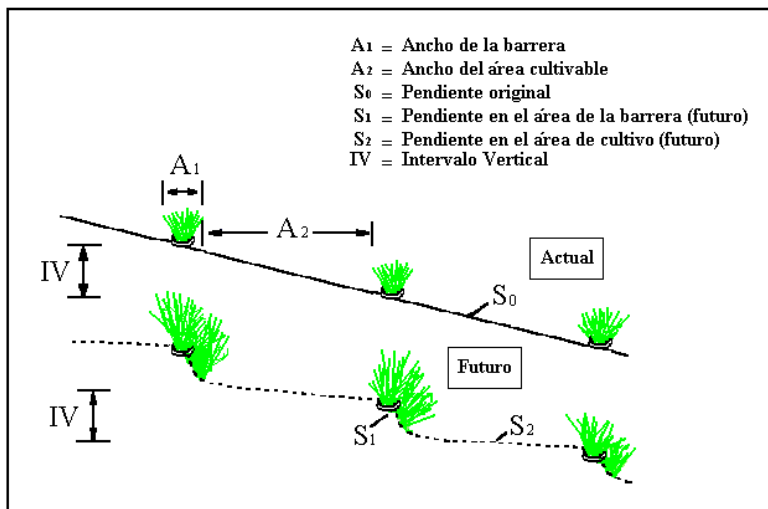


Figura 9. Evolución de una barrera viva.

Establecer una barrera es menos costoso que construir obras de conservación, especialmente las terrazas de banco que son una forma excesivamente cara de conservación. Se estima que se requieren 1500 jornales

ha⁻¹ para construir terrazas de banco y alrededor de 50 jornales ha⁻¹ para su mantenimiento anual (Critchley *et al.*, 2001).

Las barreras reducen de manera sustancial las pérdidas de sedimento y escurrimiento. Favorecen la formación natural de terrazas y la fertilidad del suelo. Además, las barreras también han mostrado reducciones en el arrastre de agroquímicos. Entre las especies que se han utilizado como barreras figuran los pastos, arbustos y árboles.

También se han evaluado, en menor proporción, las barreras vegetales en combinación con sistemas de labranza. No se reportan trabajos con barreras de zarzamora, aun cuando la zarzamora provee fruta, residuos para cobertura del suelo, conserva el suelo, secuestra carbono y embellece el ambiente agrícola; además, tiene un amplio mercado para su comercialización. Tampoco existen evidencias documentadas del uso de llantas de desecho como barreras pero si existen referencias de su uso en el control de cárcavas (Sparoveck *et al.*, 2001; CONAFOR, 2010).

La potencialidad de barreras biofísicas en combinación con sistemas de labranza ha sido escasamente investigada en las áreas de ladera de México (Uribe-Gómez *et al.*, 2000; Ruiz-Vega *et al.*, 2001). Por lo tanto, está vigente la necesidad de aumentar y difundir el conocimiento en términos de las relaciones hidrológicas y de erosión en suelos de ladera manejados con barreras vivas complementados con otras prácticas como los sistemas de labranza.

VI.6.2. Ámbito de aplicación de la tecnología

Los ambientes donde esta tecnología ofrece los mejores resultados, es la región templada del Estado de Michoacán, destinada a la producción de maíz, con pendiente mayor de 8 por ciento pero menor de 25 por ciento, y precipitación media anual menor de 1,300 mm. Se estima que la superficie bajo estas condiciones abarca 50 mil hectáreas en las cuencas de los lagos de Cuitzeo, Pátzcuaro y Zirahuén.

VI.6.3. Construcción de la barrera

Para la separación entre barreras se ha determinado de manera empírica que la diferencia de nivel entre una barrera y otra no debe ser mayor a 1.70 m. A este espaciamiento se le conoce como intervalo vertical. También existe el espaciamiento horizontal el cual es la distancia medida en la superficie entre dos barreras. El espaciamiento horizontal se puede determinar con la siguiente formula:

$$IH = \left(\frac{1.70}{P} \right)$$

Donde IH es el espaciamiento horizontal y P es la pendiente expresada en porcentaje. Por ejemplo, para una pendiente de 18 %, la separación horizontal entre dos barreras es de 10 m.

$$IH = \left(\frac{1.70}{0.18} \right)$$

VI.6.4. Selección de la especie vegetal para la barrera

Antes del comienzo de la temporada de lluvias se recomienda formar las barreras con piedras u otro material inerte disponible. Se sugiere utilizar plantas nativas o introducidas como el pasto llorón (*Eragrostis curvula*), pasto Rhodes (*Chloris gayana*), zarzamora (*Rubus spp*), durazno (*Prunus persica*) u otra especie para formar la barrera viva (Figura 10). Al inicio del temporal se pueden establecer dos plantas de zarzamora cada 30 cm, o bien distribuirse al voleo semilla de pasto llorón o Rhodes, siguiendo las recomendaciones que se ofrecen en el apartado de producción de forrajes, en esta publicación.



Figura 10. Barreras vivas formadas con pasto llorón y zarzamora.

VI.6.5. Mantenimiento y labranza en los intervalos entre las barreras

Después del establecimiento de la barrera, las plantas que la forman requieren de nutrimentos para mantener su vigor. Para ello se pueden aplicar estiércol, compostas o

fertilizantes químicos. También se sugiere replantar los espacios sin plantas para mantener una buena densidad de población. Si se presentan daños de la plaga frailecillo en plantas de zarzamora se sugiere aplicar una infusión al 20 % de ajeno (hervir 1.5 kg de ajeno en 10 litros de agua). Evite aplicar herbicidas y cualquier operación con maquinaria sobre las barreras, y no deberá provocarse ninguna quema, pues los tallos de la zarzamora contribuyen al funcionamiento de la barrera. Para el manejo de la barrera de pasto llorón, revisar el tema de forrajes en este mismo folleto.

Las barreras formadas proporcionan una guía para realizar operaciones de labranza en contorno y para orientar los surcos o líneas de siembra de manera paralela a la barrera lo cual hace más lento el escurrimiento. Esto reduce de manera efectiva la longitud de la pendiente. Cualquier exceso de agua que se produce entre dos barreras se conduce lentamente hacia la barrera inferior por efecto de pequeñas depresiones formadas en la superficie, por los residuos de rastrojo, evitando así la formación de pequeñas cárcavas o canalillos entre las barrears.

VI.6.6. Impacto y costos de la tecnología

La tecnología de barreras vivas complementada con labranza de conservación entre las hileras de las barrears, presenta varias ventajas (Cuadro 7).

Los costos de instalación incluyen el material vegetativo (semilla de pasto o planta de zarzamora) y su siembra o plantación. Para construir 100 m de barreras se requieren de 300 plantas de zarzamora y dos jornales para la

plantación. Es decir, si se consigue el apoyo para el acarreo de plantas, se requiere de 800 pesos por cada 100 m de barrera. Los costos de mantenimiento se reducen considerablemente y dependerán si se requiere reponer plantas y de aplicaciones de fertilizante y el control del frailecillo, si llega a dañar las plantas de zarzamora.

Cuadro 7. Diferencias entre dos sistemas de producción

Beneficio/Función	LC+BVZ	LT-SB
Erosión del suelo	Se reduce en 70 %	No se reduce
Escurrimiento	Se reduce en 80 %	No se reduce
Arrastre de nitratos	Se reduce	Se pierden 8.7 kg/ha
Velocidad de infiltración	84.5 mm/h	22.7 mm/h
Agua disponible en el suelo	Aumenta 5-10 %	No se aumenta
Rendimiento de maíz	3.1 t/ha	2.6 t/ha
Rendimiento de rastrojo	7.0 t/ha	6.1 t/ha
Rendimiento de zarzamora	200-400 g por m de barrera	No se obtiene
Longitud de la pendiente	Se reduce	No se reduce
Sedimentación en cuerpos de agua	Se reduce	No se reduce

LC+BVZ: Labranza de conservación mas barrera vivas de zarzamora; LT-SB: labranza convencional sin barreras vivas.

VI.6.7. Ejemplo: Planeación del sistema TBV en una ladera

Se toma el caso de un predio ubicado en una ladera cuya pendiente varía de 4 a 16 % (Figura 11). El reto es trazar barreras vivas siguiendo el contorno, pero considerando también los puntos que requieran el establecimiento de refuerzos para evitar la formación de cárcavas. Se puede proponer un plan que considere diversas prácticas agronómicas, vegetativas y de tipo estructural o de ingeniería, sin embargo, el plan más adecuado es la tecnología que combina las barreras vivas con un sistema

de labranza de conservación por las ventajas para la conservación del suelo y agua.

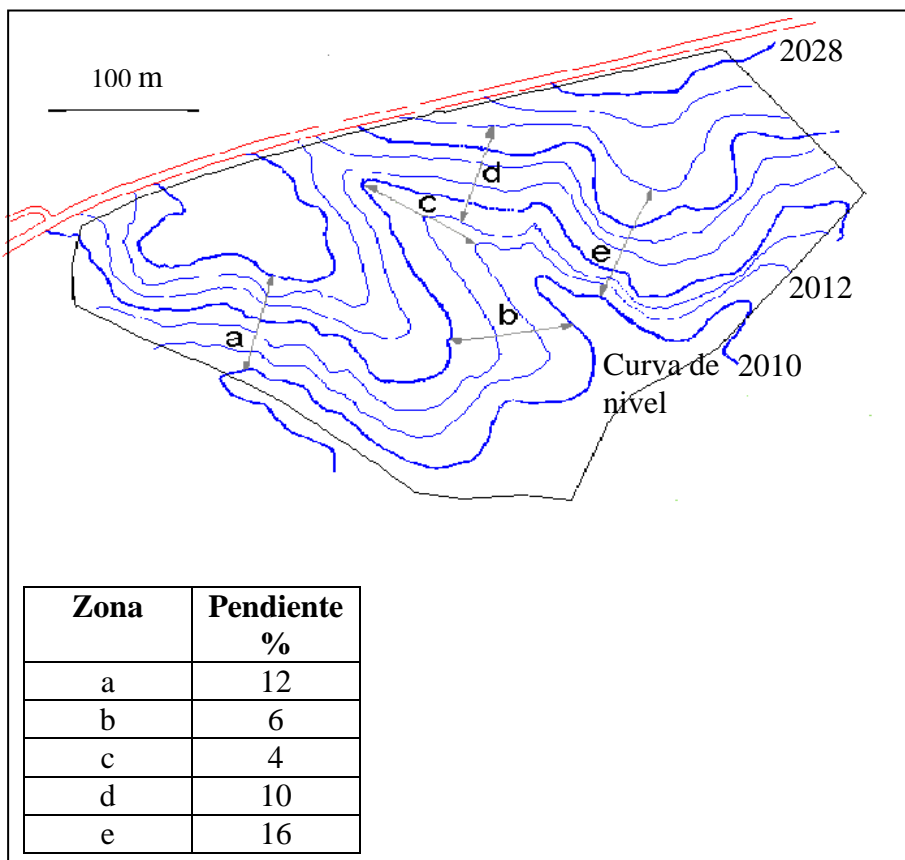


Figura 11. Mapa topográfico de un predio en ladera con pendiente promedio de 10 por ciento.

Aplicando la fórmula para obtener el espaciamiento horizontal considerando la pendiente promedio de 10 por

ciento, se trazan barreras separadas a 15 m. Para este caso, cada barrera tiene un ancho de 1 m para la siembra de pasto llorón. Nótese que se proponen barreras adicionales de refuerzo en la porción sur (**zona b**), con el objeto de mantener barreras paralelas en las porciones norte y oriente (**zonas d y e**) en las cuales se presentan pendientes pronunciadas. Con este arreglo en la **zona b**, los surcos o líneas de siembra siguen el contorno de la barrera adicional. Cada línea de siembra se regresa según la alineación de las barreras de refuerzo, de esta manera, se facilita las operaciones de siembra.

Las barreras controlan la formación de cárcavas y el sistema de labranza de conservación reduce la erosión laminar y en canalillos. Ambos, la barrera y la labranza de conservación, controlan el escurrimiento superficial. Es decir, se propone un sistema completo de control de la erosión del suelo y escurrimiento en el predio (Figura 12).

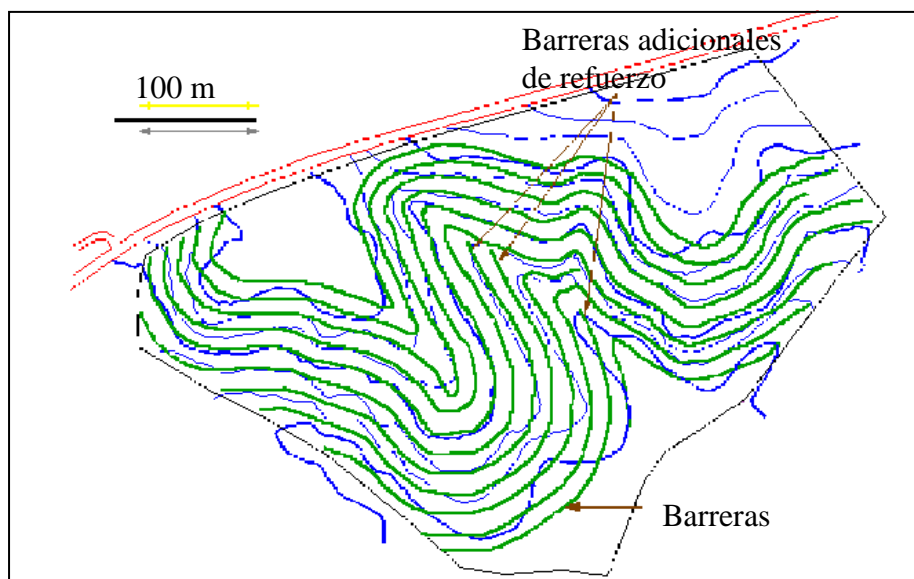


Figura 12. Trazo y ubicación de barreras con intervalos de cultivo de 15 m.

VI.7. Coberturas vegetales y represas para el control de la erosión en cárcavas

VI.7.1. Introducción

La erosión en cárcavas es el nivel de afectación extremo de la degradación del suelo y los daños que ocasiona pueden ser permanentes. Una cárcava es un canal natural causado por un flujo de agua concentrado, a través del cual fluye la escorrentía durante o inmediatamente después de un evento de lluvia intenso (SCSA, 1982).

Generalmente, las cárcavas se forman debido a las actividades humanas y factores físicos como son el uso inapropiado del suelo y de la cubierta vegetal, sobrepastoreo, construcción de caminos, senderos creados por animales o vehículos, intensidad y cantidad de lluvia, topografía, tamaño y forma de la cuenca, longitud y gradiente de laderas, y características del suelo, entre otros (Bocco, 1991; Strunk, 2005).

Los impactos de la erosión en cárcavas son importantes ya que afectan negativamente las áreas cercanas a estas, reducen el área agrícola, de pastoreo y forestal, y dañan la infraestructura ubicada aguas abajo; contaminan cuerpos de agua superficiales y abaten el nivel freático de las corrientes permanentes con lo que reduce el caudal base de las corrientes de agua (Valentín *et al.*, 2005; Martineli and Prado, 2007). En la subcuenca de Cointzio, la erosión en cárcavas es la principal fuente de sedimento y por la tanto, el mayor proceso de degradación del suelo, por ello, es importante mitigar este tipo de degradación del suelo (Figura 13).

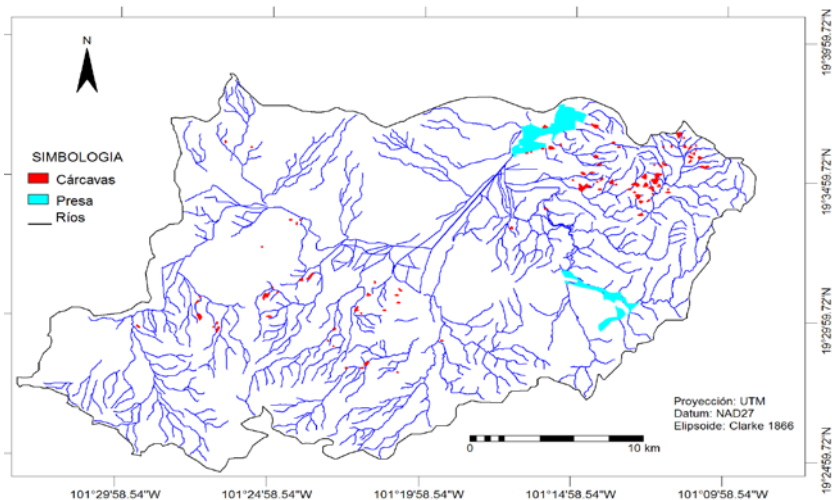


Figura 13. Distribución de cárcavas activas en la subcuenca de Cointzio.

VI.7.2. Características de las cárcavas

En la subcuenca de Cointzio, las cárcavas permanentes se forman sobre suelos de "charanda" (Acrisoles) derivados de andesitas con alto contenido de arcilla (> 60%), con dominio de uso de pastoreo, presentan una pendiente promedio de 16 %, una longitud que varía de 12.6 a 353.8 m y una profundidad media de 2.3 m. El ancho de las cárcavas y el avance remontante de éstas, ocurren por el agrietamiento en bordes de la cabecera y taludes (proceso asociado con las características de la arcilla esmectita y con estados de desecación), y por efecto del flujo sobre las grietas que se presenta durante la época de lluvias, los cuales inducen la erosión tubular y el colapso de taludes y cabecera (Figura 14); la profundidad de las cárcavas está determinada por el efecto erosivo de los caudales o avenidas que se forman durante los eventos

extraordinarios de lluvia, que pueden ocurrir hasta en cinco ocasiones durante el año.

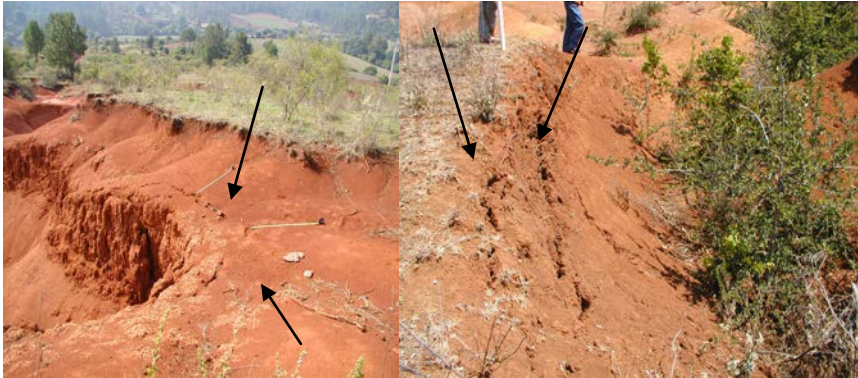


Figura 14. Agrietamientos en cabecera y taludes de una cárcava (se indican con flechas).

Mediciones realizadas en cárcavas de la subcuenca mostraron que las pérdidas anuales de suelo son de 200 kg por metro de cárcava.

VI.7.3. Control de la erosión en cárcavas

Los principios generales para el control de la erosión en cárcavas son los siguientes (1) Mejorar el manejo de las cuencas de aportación con prácticas de reforestación y pastización para la reducción del gasto pico y del volumen total escurrido, incluyendo la desviación del escurrimiento aguas arriba de la cabecera, y (2) estabilizar las cabeceras, taludes y fondo de las cárcavas con base en la vegetación nativa e introducida, y con represas de piedra acomodada, gaviones, costales de polipropileno rociados con esmalte blanco para alargar su vida u otra material disponible en la zona (Pathak *et al.*, 2005).

Las técnicas vegetativas para el control de la erosión en cárcavas se fundamentan en el efecto de la biomasa, tanto aérea como subterránea, la cual protege al suelo de dos maneras. Los efectos hidrológicos de la biomasa aérea incluyen la reducción de la erosión del suelo por efecto de la intercepción de las gotas de lluvia, además, la reducción de la escorrentía al aumentar la infiltración, y la formación de una rugosidad sobre la superficie del suelo a través de la materia orgánica que aporta la biomasa. El sistema de raíces, por su parte, cohesiona y aumenta la rugosidad e infiltración del suelo, mejorando con ello la resistencia del suelo a la erosión. En diversas regiones, los pastos han demostrado que ofrecen el control más efectivo de la erosión porque germinan rápido, proporcionan una completa protección superficial del suelo y su denso sistema de raíces cohesiona el suelo.

En áreas acarcavadas donde el agrietamiento y la erosión tubular colapsan los taludes, las medidas de control del caudal que se apliquen en el fondo de la cárcava, deberán acompañarse con suavizado de taludes y prácticas de revegetación con pastos y arbustos. Considerando que la aplicación de medidas de control con base en el uso de la vegetación produce resultados mínimos, porque las áreas acarcavadas son intensamente pastoreadas, se recomienda el cercado de estas áreas y el establecimiento de pastos, porque cuando la biomasa aérea desaparece por efecto de incendio o pastoreo, las raíces de los pastos son las únicas que ofrecen resistencia a la erosión.

Las especies nativas que con mayor frecuencia crecen en los cauces y taludes de las cárcavas, y por ello pueden ser útiles para la revegetación y control de cárcavas, son las siguientes: "tejocote" (*Crataegus mexicana*), "jara" (*Baccharis salicifolia*), "capulín" (*Prunus serotina*),

"acebuche" (*Forestiera phillyreoides*), "pino ortiguillo" (*Pinus lawsonii*), "fresno" (*Fraxinus uhdei*), "maguey" (*Agave sp.*), y diversas especies de pastos (*Muhlenbergia sp.*, etc.). Entre las especies introducidas se han observado: "pino ocote" (*Pinus greggii*), "cedro" (*Cupressus lindleyi*), "eucalipto" (*Eucalyptus camaldulensis*), y "casuarina" (*Casuarina equisetifolia*).

Un trabajo importante es el cabeceo de la cárcava, el cual se realiza en la parte superior donde comienza la cárcava para detener o estabilizar la erosión remontante. Primero se sugiere despallar con pala y pico los taludes dejándolos con un grado de inclinación 2:1; Enseguida se debe cubrir el despalle con piedra, ramas secas o con costales rellenos de tierra. Se sugiere recubrir un poco más del área despalmada para reducir la fuerza de la corriente de agua.

La Figura 15 muestra el perfil general de un esquema propuesto por Bravo *et al.* (2008) para la estabilización de taludes y reducir la erosión en cárcavas en la subcuenca de Cointzio.

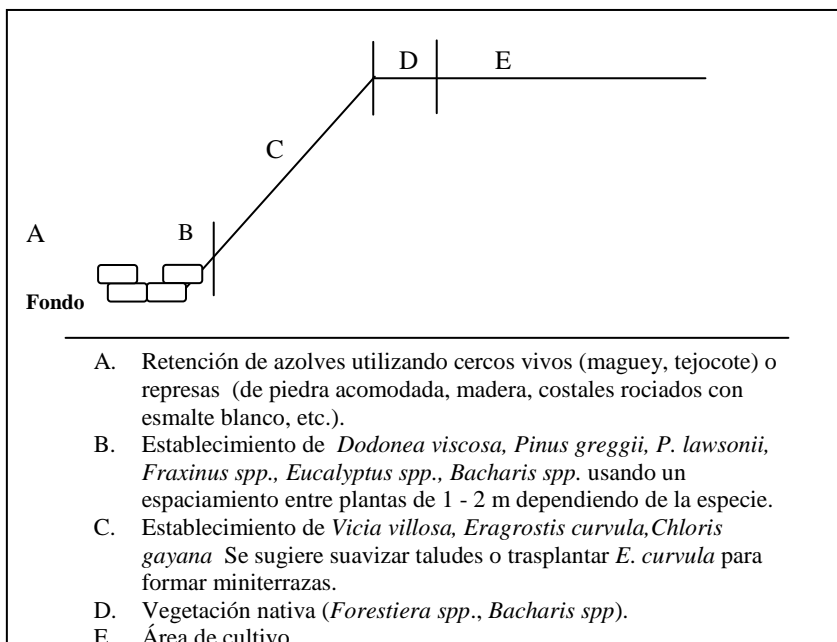


Figura 15. Perfil de la estabilización de un talud (modificado de Bravo *et al.*, 2008).

Las principales recomendaciones son las siguientes:

1. Antes del periodo de lluvias realizar el suavizado de taludes y el cabeceo de la parte superior de la cárcava; en los taludes construir pequeños bancales con madera (costera), para promover la formación de miniterrazas que evitarán el arrastre de la semilla y el suelo por acción del agua.
2. Elegir especies nativas e introducidas que resistan y prosperen en las severas condiciones que ofrecen los taludes al crecimiento y desarrollo vegetal. Para la revegetación de taludes (Figura 15C) se sugiere la veza (*Vicia villosa*), el pasto llorón (*Eragrostis*

curvula) y el pasto Rhodes (*Chloris gayana*). La veza se recomienda por las ventajas que tienen las leguminosas sobre el suelo. También sirve como una planta que amadrinará al pasto llorón, dado el lento crecimiento de éste durante el primer año. A partir del segundo año solamente se mantendrá el pasto llorón por su hábito perenne.

3. Realizar la siembra al voleo, una vez que esté establecida la temporada de lluvias, utilizando las densidades de siembra para la veza de 40 kg ha^{-1} y para el pasto llorón de 4 kg ha^{-1} . Inmediatamente después de la siembra, aplicar la dosis total de 40-40-0 (kg ha^{-1} de fertilización N - P_2O_5 - K_2O).
4. En la base de los taludes establecer árboles y arbustos (Figura 15B). Las especies que sugerimos son la jarilla (*Dodonea viscosa*), pino ocote (*Pinus greggii* Eng), tejocote, maguey, jara, eucalipto, fresno, capulín, etc. Distribuir las plantas en dos hileras, en la base de taludes de cárcavas, con una separación de 3 m entre hileras y 1.5 m entre plantas. Durante la plantación de las especies leñosas realizar una aplicación de composta en la base de la planta, utilizando aproximadamente de 50 a 100 g de composta por árbol.
5. Para reducir la velocidad del caudal, favorecer la sedimentación y evitar el efecto erosivo del flujo sobre la parte basal del talud, se recomienda la construcción de pequeñas represas de piedra u otro material barato y disponible en la zona (Figura 15A).
6. Los beneficios de esta tecnología son los siguientes. El establecimiento de medidas de control en el fondo de las cárcavas, promueve la sedimentación y el crecimiento de la vegetación nativa, la cual crea nuevas condiciones hidráulicas que modifican la capacidad de transporte en el cauce, siempre y

cuando se acompañe con obras de desviación del caudal aguas arriba. Las condiciones en los taludes revegetados mejoran por los contenidos de carbono orgánico y nitrógeno total, producción de biomasa y cobertura vegetal. Las especies recomendadas ofrecen además usos para forraje y como fuente de leña.

VII. LITERATURA CITADA

- Alcalá, M., C.A. Ortiz, M.C. Gutiérrez. 2001. Clasificación de los suelos de la Meseta Tarasca, Michoacán. *Terra Latinoamericana* 19: 227-239.
- Barraza, L. 2005. La investigación educativa y su aplicación en la restauración ecológica. *En: Sánchez, O. et al. (eds.). Temas sobre restauración ecológica, INE-SEMARNAT, México, DF. pp 57-66.*
- Barrera, C., G., P. Bustos, M. Núñez. 2005. Informe Técnico de la Etapa I del Proyecto: Degradación y restauración de suelos con enfoques participativos en la cuenca de Cointzio, Michoacán. Morelia, Mich.
- Benites, J.R. 1992. Manual de sistemas de labranza para América Latina. Boletín de Suelos 66. FAO, Roma, Italia.
- Blackburn, W.H., R.W. Knight, M.K. Wood. 1982. Impacts of grazing on watersheds: A state of knowledge. College Station, Texas, USA. Texas Agricultural Experiment Station.
- Bocco, G., 1991. Gully erosion: Processes and models. *Progress in Physical Geography* 15(4):392-406.
- Brady, N.C. and R.R. Weil. 2004. The nature and properties of soils. Thirteenth edition. Delhi, India.
- Bravo, E.M., J. Ruiz-Vega y V. Volke-Haller. 2005. Cultivo de maíz en sistemas de labranza con barreras biofísicas en Andosoles de ladera. *Terra Latinoamericana* 23:371-380.
- Bravo, E.M., C. Prat, L. Medina-Orozco, and B. Serrato-Barajas. 2006a. Erosivity and erodibility in degraded volcanic cropland soils in the Cointzio-Dam Basin, Central

Mexico. Technical Inform REVOLSO Project. CE Uruapan-INIFAP. México.

- Bravo, E.M., L. Fregoso y L. Medina. 2006b. Parámetros de erosionabilidad del modelo WEPP para Andosoles con uso pecuario en la cuenca del Lago de Pátzcuaro, Michoacán. *Téc. Pec. Méx.* 129-141.
- Bravo, E.M., F. García-Oliva, L. Medina-Orozco, M. Mendoza-Cantú, C. Prat, G. Barrera-Camacho, B. Serrato-Barajas, M. Núñez-Vega, P. Bustos, C. Bedolla, J. Gallardo, S. Covalada, J. Etchevers, T. Sáenz y M. Alcalá. 2008. Informe técnico final del proyecto de investigación: SEMARNAT-2004-C01-304 Degradación y restauración de suelos con enfoques participativos en la cuenca de Cointzio, Michoacán. CE-Uruapan, Mich.
- Bustos, P., M. Núñez, y G. Barrera. 2006. Talleres participativos sobre degradación del suelo. Informe Técnico de la Etapa II del Proyecto: Degradación y restauración de suelos con enfoques participativos en la cuenca de Cointzio, Michoacán. Morelia, Mich.
- Bustos, B., P. 2007. Uso de suelo y agua en comunidades de la cuenca de Cointzio, Michoacán: Hacia un futuro sustentable o de conflicto? Tesis de Maestría. UACH., Morelia, Mich.
- Chevalier, J.M. SF. El sistema de análisis social. Carleton University. Ottawa, Canada. http://www.trican.com/sas/pdfs/Causes_effect_s_sp.pdf (Consultado 15-Ene-2007).
- Christensen, N.L. *et al.* 1996. The report of the Ecological Society of America Committee on the scientific basis for ecosystem management. *Ecological Applications* 6: 665-691.

- CONAFOR, 2010. Manual de conservación de suelos. Segunda parte A.
<http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/ver.aspx?articulo=1311&grupo=20> (Consultado 14-Dic-2010).
- CONAGUA. 2009. Programa Hídrico Visión 2030 del Estado de Michoacán de Ocampo.
http://www.michoacan.gob.mx/ceac/images/stories/CEAC/PDF/programa_hidrico_vision_2030--estado_de_michoacan_de_ocampo.pdf (Consultado 18-Nov-2010).
- Cotler, H., S. Cortina, E. Sotelo, J. Domínguez, L. Quiñones y M. Zorrilla. 2007. La conservación de suelos como interés público o ¿Por qué la degradación de suelos no representa un interés público nacional?. INE. Documento de trabajo, 83 pp, México, DF.
<http://www.ine.gob.mx/dgoece/cuencas>.
- Covaleda, S. 2008. Influencia de diferentes impactos antrópicos en la dinámica del C y la fertilidad de suelos volcánicos mexicanos, implicaciones sobre el secuestro de C. Disertación Doctoral, Universidad de Valladolid, Valladolid, España.
- CP-SEMARNAT. 2002. Evaluación de la degradación del suelo causada por el hombre en la República Mexicana, escala 1:250,000. México, DF.
- Critchley, W., S. Sombatpanit and S. M. Medina. 2001. Uncertain steps? Terraces in the tropics. *In: Bridges et al. (eds.) Response to Land Degradation*. Science Pu. Enfield, NH, USA.
- Cueto, W.J., J. Castellanos, U. Figueroa, J.M. Cortes, D. Reta y C. Valenzuela. 2005. Uso sustentable de desechos orgánicos en sistemas de producción agrícola. SAGARPA-INIFAP, México DF.

- Dabney, S.M., K.C. McGregor, L.D. Meyer, E.H. Grissinger, and G.R. Foster, 1993. Vegetative barriers for runoff and sediment control. In: J.K. Mitchell (ed): Integrated Resources Management and Landscape Modification for Environmental Protection. ASAE, St. Joseph, MICH., pp 60-70.
- Dahl, B.E. and P.F. Cotter. 1984. Management of weeping lovegrass in West Texas. Management note 5, College of Agricultural Sciences. Texas Tech University, Lubbock, TX.
- Dahl, B.E., P.F. Cotter, D.B. Wester and C.M. Britton. 1986. Grass seeding in West Texas. *In*: Smith, L.M. and C.M. Britton (eds.). Research Highlights 1986. Vol. 17, Department of Range and Wildlife Management., College of Agricultural Sciences. Texas Tech University, Lubbock, TX. pp, 8-15.
- Echavarría, F., A. Serna, R. Bañuelos, H. Salinas, M. Flores y R. Gutiérrez. 2007. Degradación física de los suelos de pastizal bajo pastoreo continuo en el Altiplano de Zacatecas. Folleto Científico No.11, Campo Exp. Zacatecas. INIFAP. Calera, Zac.
- Eckert, D. 2010. Efficient fertilizer use manual: Nitrogen. The Mosaic Company, Plymouth, MN. 12 pp.
- FAO. 1988. Soil Map of the World. Revised Legend. Reprinted with corrections. World Soil Resources Report 60. FAO, Rome.
- Feller, C. and M.H. Beare. 1997. Physical control of soil organic matter dynamics in the tropics. *Geoderma* 79: 69-116
- González, R., H.E. Villaseñor, E. Espitia y H. Vallejo. 2004. Tecnología para cultivar avena de temporal en la zona

templada de Michoacán. Folleto para Productores No. 1, INIFAP-CIRPAC, C.E. Uruapan, Michoacán, México.

- González, A., J.L. Jolalpa, E. Espitia, E. Villaseñor, J. Salmerón, J. Huerta y S. Word. 2007. Impacto económico del mejoramiento genético de la avena en México: variedad Chihuahua. Publicación Técnica No. 23, INIFAP. México, DF.
- Griffith, B. 2010. Efficient fertilizer use manual: Phosphorus. The Mosaic Company, Plymouth, MN. 7 pp.
- Guzmán, G.I. y A.M. Alonso. 2001. Manejo de malezas en agricultura ecológica. Hoja Divulgativa 4.6/01. Comité Andaluz de Agricultura Ecológica. <http://www.agroeco.org/socla/pdfs/manejomalezas.pdf> (Consultado 10/01/2010).
- Hanan, A., J. Mondragón y H. Vibrans. 2005. Ficha informativa del zacate amor seco llorón (*Eragrostis curvula* Schrader) Nees. <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/poaceae/eragrostis-curvula/fichas/ficha.htm> (Consultado 7-Ene-2008).
- Hepperly, P., D. Lotter, C. Ziegler, R. Seidel and C. Reider. 2009. Compost, Manure and Synthetic fertilizer influences crop yields, soil properties, nitrate leaching and crop nutrient content. *Compost Science & Utilization* 17: 117-126
- Hobbs, R.J. and D.A. Norton. 1996. Towards a conceptual framework for restoration ecology. *Restoration Ecology* 4:93-110.
- INEGI. 2008. Sistema de Cuentas Nacionales de México: Sistema de Cuentas Económicas y Ecológicas de México 2003-2006. Aguascalientes, Ags., México. 134 pp. ISBN: 978-970-13-4982-3.

- Jiménez, C., M. Tejedor, G. Morillas and J. Neris. 2006. Infiltration rate in Andisols: Effect of changes in vegetation cover (Tenerife, Spain). *J. of Soil Water Conservation* 61 (3), 153-158.
- Jiménez, M.A. 1993. La producción de forrajes en México. Universidad Autónoma Chapingo. Banco de México-FIRA. Chapingo, México.
- Johnson, N., N. Lilja, J. Ashby, and J.A. Garcia. 2004. The practice of participatory research and gender analysis in natural resource management. *Natural Resources Forum* 28: 189-200.
- Lal, R., D.J. Eckert, N.R. Fausey and W.M. Edwards. 1990. Conservation tillage in sustainable agriculture. *In: Sustainable agricultural systems. Soil and Water Conservation Society, Ankeny, Iowa.* pp. 203-225.
- Manu, A., T. Thurow, A.S.R. Juo, and I. Zanguina. 1997. Agroecological impacts of five years of practical program for restoration of a degraded Sahelian watershed. *In: Lal, R. (ed.). Integrated watershed management in the global ecosystem. Soil and Water Cons. Soc. Boca Raton, FL.* pp. 145-164.
- Martinel, C.F., and L.A. Prado. 2007. Analysis of the influence of gully erosion in the flow pattern of catchment streams, Southeastern Brazil. *Catena* 69:230-238.
- Medina, G.G., H. Salinas G. y F.A. Rubio A. 2001. Potencial productivo de especies forrajeras en el estado de Zacatecas. Libro Técnico No. 1. INIFAP, Centro de Investigación Regional Norte Centro. C.E. Zacatecas. Calera, Zacatecas, México.
- Medina-Orozco, L.E. 2006. Pérdidas de suelo, agua y nutrientes en parcelas experimentales con sistemas

agrícolas de "año y vez" y alternativos en un Acrisol de Michoacán. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Edo. de México.

- Mendoza, M., y E. López. 2007. Caracterización físico-geográfica de la subcuenca de Cointzio, Michoacán: Información básica para el manejo integrado de cuencas. *En: Sánchez-Brito et al. (eds.) Avances de investigación en agricultura sostenible IV: Bases metodológicas para el manejo integral de cuencas hidrológicas.* INIFAP. Centro de Investigación Regional Pacífico-Centro. C.E. Uruapan, Michoacán, México. pp. 69-98.
- Mushala, H.M. 1997. Soil erosion and indigenous land management: some socio-economic considerations. *Soil technology* 11:301-310.
- Norton, L. D., E. Ventura y K. Dontsova. 2003. Degradación del suelo como resultado de la erosión hídrica. *Terra* 21(2): 259-266.
- Oldeman, L.R., R.T.A. Hakkeling, and W.G. Sombroek. 1991. World map of the status of human-induced soil degradation. International Soil Reference and Information Centre, Wageningen and United Nations Environmental Programme, Nairobi.
- Oldeman, L.R. 1993. An international methodology for a World soil and terrain database and a global assessment of soil degradation. Expert Consultation of the Asian Network on Problem Soils. Bangkok, Thailand.
- Pathak, P., S.P. Wani, and R. Sudi. 2005. Gully control in SAT watersheds. Global Theme on Agroecosystems Report No. 15. ICRISAT, Andhra Pradesh, India.

- Prasad, R. and J.F. Power, 1997. 1997. Soil fertility management for sustainable agriculture. CRC Presss, Boca Raton, FL.
- Perdomo, F., y H. Vibrans. 2005. Ficha informativa del zacate Rhodes (*Chloris gayana* Kunth). <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/poaceae/chloris-gayana/fichas/ficha.htm> (Consultado 7-Ene-2008).
- Pérez, S.D.R. 2005. La restauración en relación con el uso extractivo de recursos bióticos. *En: Sánchez, O. et al.* (eds.). Temas sobre restauración ecológica. INE-SEMARNAT, México, DF. pp 80-86,
- Poudel, D.D., D.J. Midmore, and L.T. West. 2000. Farmer participatory research to minimize soil erosion on steepland vegetable systems in the Philippines. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 79: 113-127.
- Pimentel, D., P. Hepperly, J. Hanson, D. Douds, R. Seidel. 2005. Environmental, energetic, and economic comparisons of organic and conventional farming systems. *BioScience* 55: 573-582.
- Probst, K., J. Hagmann, M. Fernandez, and J. Ashby. 2003. Understanding participatory research in the context of natural resource management: Paradigms, Approaches and Typologies. AgREN Network Paper. No. 130.
- Rhoades, R.E. 1997. The participatory multipurpose watershed Project: Nature's salvation or Schumacher's nightmare. *In: Lal, R.* (ed.). *Integrated watershed management in the global ecosystem*. Soil and Water Cons. Soc. Boca Raton, FL. pp. 327-344.
- Ruiz-Vega, J., M. Bravo-Espinosa y G. Loaeza-Ramírez. 2001. Cubiertas vegetales y barreras vivas: tecnologías con

potencial para reducir la erosión en Oaxaca, México. Terra 19: 89-95.

SAGARPA. 2008. Anuario Estatal Agropecuario y Forestal 2007, Michoacán. Morelia, Mich., 402 pp.

SAGARPA-CP. 2010. Ollas de agua, jagüeyes, cajas de agua o aljibes. Dirección General de Apoyos para el Desarrollo Rural. México, DF. <http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/Documents/fichasCOUSSA/Ollas%20de%20agua.pdf> (Consultado 15/Oct/2010).

Sánchez, O. 2005. Restauración ecológica: Algunos conceptos, postulados y debates al inicio del siglo XXI. *En*: Sánchez, O. *et al.* (eds.). Temas sobre restauración ecológica, INE-SEMARNAT, México, DF. pp 15-30.

Savabi, M.R., and D.E. Stott. 1994. Plant residue impact on rainfall interception. Transactions of the ASAE 37(4): 1093-1098.

Sazón, T.F. 1997. People's involvement in watershed management: Lessons from working among resource-poor farmers. *In*: Lal, R. (ed.). Integrated watershed management in the global ecosystem. Soil and Water Cons. Soc. Boca Raton, FL. pp. 345-366.

SCSA. 1982. Resource conservation glossary. Ankeny, IO, USA.

Serna, P.A. y F. Echavarría, 2002. Caracterización hidrológica de un pastizal comunal excluido al pastoreo en Zacatecas, México. *Téc Pecu Mex* 40(1): 37-53

Schechambo, F., Soveli H., and Kisanga, D. (1999). Rethinking natural resource degradation in semi arid Sub-Saharan Africa: The case of semi arid Tanzania. ODI Publications, London, UK. 54 pp.

- Shoji, S., M. Nanzyo, R.A. Dahlgren. 1993. Volcanic ash soils: Genesis, properties and utilization. *Developments in soil science* 21. Elsevier, Amsterdam, The Netherlands.
- Sparovek, G., S. Hornink and E. Schnug. 2001. A solution for worn-out tires, gully erosions, forests and dengue fever in Brazil. *Landbauforsch. Völknerode* 51(3): 95-99.
- Strunk, H. 2005. Soil degradation and overland flow as causes of gully erosion on mountain pastures and in forests. *Catena* 50 :185-198.
- Sutherland, A. 2003. Soil and water conservation - historical and geographical perspectives on participation. *In: Pound, B., S. Snapp, C. McDougall, and A. Braun (eds.) Managing Natural Resources for Sustainable Livelihoods - Uniting Science and Participation*. London: Earthscan and IDRC. pp. 237-239.
- Tiffen, M., M. Mortimore and F. Gichuki. 1994. More people less erosion: Environmental recovery in Kenya. Wiley & Sons, Chichester UK, 311 pp.
- UGRJ (Unión Ganadera Regional de Jalisco). SF. Producción de forraje y semilla de pasto *Andropogon* o "Llanero" en el sur de Jalisco. http://www.ugrj.org.mx/index.php?option=com_content&task=view&id=491&Itemid=376 (Consultado 10-Ene-2008).
- UGRJ (Unión Ganadera Regional de Jalisco). 2008. El zacate llorón. http://www.ugrj.org.mx/index.php?option=com_content&task=view&id=202&Itemid=140 (Consultado 10-Ene-2008).
- United Nations, 1994. Earth summit. Convention on desertification. United Nations conference on environment and development. Rio de Janeiro, Brazil, 3-

14 June 1992, Report no. DPI/SD/1576, United Nations, New York.

- Uribe-Gomez, S., M.C. Gutierrez-Castorena, C. Tavaréz-Espinosa y A. Turrent-Fernandez. 2000. Caracterización y clasificación de suelos de ladera manejados con terrazas de muro vivo en los Tuxtlas, Veracruz. *Agrociencia* 34:403-412
- Valdivia, R., and E. Villarreal. 1998. Technical diagnostic methodology for maize crop. XVII Congress of Plant Genetics. Acapulco, Gro. México.
- Valentin, C., J. Poesen, and Y. Li. 2005. Gully erosion: Impacts, factors and control. *Catena* 63: 132-153.
- Velázquez, A., D. Flores y O. Acevedo. 2001. Formación de agregados en tepetates por influencia de especies vegetales. *Agrociencia* 35: 311-320.
- Velázquez, J. 1999. Utilización de desechos orgánicos para mejorar la fertilidad del suelo. Desplegable para Productores No. 3, INIFAP-CENAPROS, Morelia, Mich.
- Villaseñor, J.L. y F.J. Espinosa. 1998. Catálogo de Malezas de México. Universidad Nacional Autónoma de México, Consejo Nacional Consultivo Fitosanitario y Fondo de Cultura Económica. México, D. F. 449 pp
- Zech, W., N. Senesi, G. Guggenberger, K. Kaiser, J. Lehmann, T. M. Miano, A. Miltner, G. Schroth. 1997. Factors controlling humification and mineralization of soil organic matter in the tropics. *Geoderma* 79: 117-161.

AGRADECIMIENTOS

Esta publicación es una contribución derivada de los proyectos de investigación: (1) Agricultura alternativa para la rehabilitación sostenible de suelos volcánicos deteriorados en México y Chile (PRECI 2945), (2) Degradación y restauración de suelos con enfoques participativos en la cuenca de Cointzio, Michoacán SEMARNAT-2004-CO1-304 (PRECI 1036184A), y (3) Potencial de barreras vivas y labranza de conservación en suelos de ladera (PRECI 1989); en estos tres proyectos el primer autor participó como responsable técnico. Se agradece a la Comisión Europea, Fondo Sectorial CONACYT-SEMARNAT, y a la Fundación Produce por los apoyos financieros para desarrollar los proyectos mencionados. También se agradece a los productores cooperantes y a la M. C. Blanca Serrato Barajas y Crecenciano Chávez Bazán por su apoyo en los trabajos de campo, y al M. C. Luis Fregoso Tirado por su apoyo en el análisis estadístico de la información.

COORDINADORES DE LA INFORMACIÓN

Dr. Keir Francisco Byerly Murphy
Dr. Gerardo Salazar Gutiérrez
Dr. Ignacio Vidales Fernández

REVISIÓN TÉCNICA

Dr. Juan de Dios Benavides Solorio
Dr. Hugo Ernesto Flores López

EDICIÓN

Ing. Roberto Toledo Bustos

COMITÉ EDITORIAL DEL C. E. URUAPAN

Presidente: Ing. Roberto Toledo Bustos
Secretario: Ing. H. Jesús Muñoz Flores
Vocales: Dr. Víctor Manuel Coria Ávalos
Ing. J. Trinidad Sáenz Reyes.

CÓDIGO INIFAP

MX-0-310305-13-05-27-09-28

Para mayor información acuda, llame ó escriba a:

Centro de Investigación Regional Pacífico Centro. INIFAP
Parque Los Colomos s/n. Colonia Providencia
Apartado Postal 6-103 C.P. 44660
Guadalajara, Jalisco, México
Tel.: (33) 36 41 69 71 y (33) 36 41 60 21
Fax: (33) 36 41 35 98

Campo Experimental Uruapan
Av. Latinoamericana 1101 Col. Revolución
C. P. 60150, Uruapan, Michoacán
Tel. (452) 523-73-92
Fax (452) 524-40-95

Impreso en los talleres de CMYK Desing and
Printed, Nicolás Bravo No. 160-B. Col. Centro. C. P. 58000,
Morelia, Mich. Teléfono (443) 3-17-72-33

La edición consta de 250 ejemplares

Impreso en México *Printed in México*

Noviembre de 2011

CAMPO EXPERIMENTAL URUAPAN

Dr. Ignacio Vidales Fernández

Jefe de Campo

MC. Eulalio Venegas González

Jefe de Operación

CP. Alejandro Alcantar Palomera

Jefe Administrativo

PERSONAL INVESTIGADOR


Dr. Miguel Bravo Espinosa	Agua y Suelo
Ing. Mauro Raúl Mendoza López	Frutales Caducifolios
Dr. Víctor Manuel Coria Avalos	Frutales Tropicales
MC. Juan Antonio Herrera González	Frutales Tropicales
MC. Antonio Larios Guzmán	Frutales Tropicales
MC. José Luis Rocha Arroyo	Frutales Tropicales
Dr. Luis Mario Tapia Vargas	Frutales Tropicales
Ing. Roberto Toledo Bustos	Industriales Perennes
MC. Humberto L. Vallejo Delgado	Maíz
Dr. Jaime De Jesús Velázquez García	Maíz
MC. María Cristina Arroyo Lira	Modelaje
MC. Mario Alberto Cepeda Villegas	Oleaginosas Anuales
Dra. Blanca Gómez Lucatero	Oleaginosas Anuales
Ing. Lucas Madrigal Huendo	Plantaciones y Sistemas Agroforestales
Ing. H. Jesús Muñoz Flores	Plantaciones y Sistemas Agroforestales
MC. Gabriela Orozco Gutiérrez	Plantaciones y Sistemas Agroforestales
Ing. J. Trinidad Sáenz Reyes	Plantaciones y Sistemas Agroforestales
Ing. Francisco J. Villaseñor Ramírez	Plantaciones y Sistemas Agroforestales
Dr. Fernando Bahena Juárez	Sanidad Vegetal
Biol. Miguel B. Nájera Rincón	Sanidad Vegetal
Dr. Rubén Sánchez Martínez	Sanidad Vegetal
MC. José Martín Arreola Zarco	Socioeconomía
MC. Gerardo Barrera Camacho	Socioeconomía
MVZ. Clicerio Ibáñez Reducindo	Transferencia de Tecnología
Ing. Jorge Jiménez Ochoa	Transferencia de Tecnología



Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Centros Nacionales de investigación Disciplinaria, Centros de Investigación Regional y Campos Experimentales



 Sede de Centro de Investigación Regional

 Centro Nacional de Investigación Disciplinaria

 Campo Experimental



Vivir Mejor

[www. gobiernofederal.gob.mx](http://www.gobiernofederal.gob.mx)

[www. sagarpa.gob.mx](http://www.sagarpa.gob.mx)

[www. inifap.gob.mx](http://www.inifap.gob.mx)



inifap

Instituto Nacional de Investigaciones
Forestales, Agrícolas y Pecuarias