

PRACTICAS PARA LA CONSERVACION DEL SUELO Y AGUA EN ZONAS ARIDAS Y SEMIARIDAS



Editora: Catarina Loredo Osti

**SECRETARIA DE AGRICULTURA, GANADERIA,
DESARROLLO RURAL, PESCA Y ALIMENTACIÓN**

LIC. FRANCISCO MAYORGA CASTAÑEDA
Secretario

ING. FRANCISCO LOPEZ TOSTADO
Subsecretario de Agricultura y Ganadería

ING. ANTONIO RUIZ GARCIA
Subsecretario de Desarrollo Rural

ING. NORBERTO DE JESUS ROQUE DIAZ DE LEON
Subsecretario de Fomento a los Agronegocios

C. RAMON CORRAL AVILA
Comisionado Nacional de Acuacultura y Pesca

**INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES FORESTALES,
AGRICOLAS Y PECUARIAS**

DR. PEDRO BRAJCICH GALLEGOS
Director General

DR. EDGAR RENDON POBLETE
Coordinador de Investigación, Innovación y Vinculación

DR. SEBASTIAN ACOSTA NUÑEZ
Coordinador de Planeación y Desarrollo

DRA. MA. EMILIA JANETTI DIAZ
Coordinadora de Administración y Sistemas

CENTRO DE INVESTIGACION REGIONAL DEL NORESTE

Dr. FRANCISCO JAVIER PADILLA RAMIREZ
Director Regional

Dr. JORGE ELIZONDO BARRON
Director de Investigación

C. P. JOSE CRUZ GONZALEZ FLORES
Director de Administración

M. C. JOSE LUIS BARRON CONTRERAS
Director de Coordinación y Vinculación en San Luis Potosí

DR. SERGIO BELTRAN LOPEZ
Jefe del Campo Experimental San Luis



**INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES FORESTALES,
AGRICOLAS Y PECUARIAS
CENTRO DE INVESTIGACION REGIONAL DEL NORESTE
CAMPO EXPERIMENTAL SAN LUIS**

PRACTICAS PARA LA CONSERVACION DEL SUELO Y AGUA EN ZONAS ARIDAS Y SEMIARIDAS

Compilación y Edición:

Dra. Catarina Loredo Osti
Campo Experimental San Luis-CIRNE-INIFAP

*Esta publicación forma parte de los productos comprometidos en el proyecto “**Conservación del suelo y agua en microcuencas de San Luis Potosí**” que desarrolló el **INIFAP** con financiamiento de la Comisión Nacional de las Zonas Áridas (**CONAZA**)*

PRACTICAS PARA LA CONSERVACION DEL SUELO Y AGUA EN ZONAS ARIDAS Y SEMIARIDAS

No está permitida la reproducción total o parcial de esta publicación, ni la transmisión de ninguna forma o por cualquier medio ya sea electrónico, mecánico, fotocopia, por registro u otros medios, sin el permiso previo y por escrito de los titulares del Copyright

Derechos Reservados © 2005, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias
Serapio Rendón No. 83
Col. San Rafael
Del. Cuauhtémoc
06470 México, D. F.
Tel. (55)5140 16 00

Primera Edición
Tiraje: 500 ejemplares
Impreso en México
Clave INIFAP/CIRNE/F-32

Esta obra se terminó de imprimir en Octubre de 2005

Libro Técnico No. 1; Octubre de 2005
Campo Experimental San Luis CIRNE-INIFAP
Km. 14.5 Carr. San Luis Potosí, Matehuala
Tel y Fax (444) 8524303
Correo electrónico: loredo.catarina@inifap.gob.mx
Oficinas: Av. Santos Degollado 1015-C
Col. Cuauhtémoc, CP 78270; San Luis Potosí, SLP
Tel: (444) 8139151 y Fax (444) 8137923

Cita correcta:

Lored Osti C. (Ed). 2005. Prácticas para la conservación del suelo y agua en zonas áridas y semiáridas. INIFAP-CIRNE-Campo Exp. San Luis. Libro técnico No. 1. San Luis Potosí, S.L.P. México. 187 p.

CONTRIBUCIONES

Se reconoce y agradece la participación de los siguientes autores, bajo cuya responsabilidad se integraron los capítulos de este libro, así como a sus respectivas instituciones:

Capítulo 1

Dr. Miguel Angel Martínez Gamiño

Campo Experimental San Luis; CIRNE-INIFAP

correo electrónico: martinez.miguel@inifap.gob.mx

Capítulos 2 y 3

Dra. Catarina Loredo Osti

Campo Experimental San Luis; CIRNE-INIFAP

correo electrónico: loredo.catarina@inifap.gob.mx

Capítulo 4

Dr. Eusebio Jr. Ventura Ramos

Universidad Autónoma de Querétaro

correo electrónico: eventura@uaq.mx

Capítulo 5

Dr. Alejandro Amante Orozco

Colegio de Postgraduados, Campus SLP

correo electrónico: aamante@colpos.mx

Capítulo 6

Dr. Sergio Beltrán López

Campo Experimental San Luis; CIRNE-INIFAP

correo electrónico: beltran.sergio@inifap.gob.mx

CONTENIDO

	página
Introducción	1
Capítulo 1. Agricultura de conservación para la producción de cultivos	5
1. Introducción	5
2. Antecedentes	6
3. Tipos de labranza	8
4. La agricultura de conservación en San Luis Potosí	12
4.1. Condiciones de riego	12
4.2. Condiciones de temporal	26
5. Conclusiones	35
6. Literatura citada	36
Capítulo 2. Prácticas agronómicas y vegetativas	39
1. Introducción.....	39
2. Prácticas agronómicas.....	41
2.1. La prevención de la erosión con prácticas agronómicas.....	44
2.2. Opciones para el Altiplano Potosino	45
3. Prácticas vegetativas.....	47
3.1. Mecanismos de la cobertura vegetal para el control de la erosión ..	48
3.2. Manejo de la vegetación en el Altiplano Potosino.....	55
4. Sistemas agroforestales.....	55
5. Reconversión de áreas agrícolas de baja productividad	57
5.1. Cultivos y variedades	60
5.2. Rotación de cultivos	60
5.3. Ventajas de los módulos forrajeros	61
5.4. Limitaciones de los módulos forrajeros	68
5.5. Producción esperada	68
5.6 Dominio de recomendación	68
6. Conclusiones.....	69
7. Literatura citada	70
Capítulo 3. Prácticas mecánicas para el control de la erosión hídrica	75
1. Introducción.....	75
1.1. Antecedentes sobre prácticas mecánicas de conservación del suelo en México	78
2. Cálculo del escurrimiento superficial.....	80

2.1. Determinación de la lluvia máxima probable en 24 horas y del período de retorno.....	81
2.2. Cálculo del escurrimiento medio anual	87
2.3. Cálculo del escurrimiento máximo.....	89
3. Métodos mecánicos para el control de la erosión.....	90
3.1. Surcado al contorno.....	91
3.2. Terrazas de formación sucesiva.....	92
3.3. Tinajas ciegas o zanjas trincheras.....	100
3.4. Dren interceptor.....	104
4. Consideraciones finales.....	108
5. Literatura citada	109
Capítulo 4. Captación de agua de lluvia	111
1. Introducción.....	111
2. Las zonas áridas y semiáridas de México.....	114
3. Captación de agua de lluvia.....	116
4. Sistema de labranza de reserva.....	121
4.1. El Sistema "Aqueel" de captación de agua de lluvia.....	122
4.2. Investigación relacionada con la rueda Aqueel.....	125
4.3. Aplicaciones de la rueda Aqueel.....	128
4.4. Aplicación del rodillo Aqueel: Estudio de caso, Cadereyta	130
5. Perspectivas.....	138
6. Conclusiones.....	139
7. Literatura citada.....	140
Capítulo 5. Barreras rompevientos	143
1. Introducción.....	143
2. Características de la barrera que afectan el flujo de aire.....	144
3. Patrón de reducción de la velocidad del viento y diseño de barreras	147
4. Efecto de las barreras rompevientos sobre el microclima y el rendimiento de los cultivos.....	152
5. Otras consideraciones en el diseño de barreras rompevientos.....	154
6. Literatura citada.....	155
Capítulo 6. Manejo y rehabilitación de agostaderos de zonas áridas y semiáridas	157
1. Introducción.....	157
2. Agostaderos de zonas áridas y semiáridas.....	158

2.1. Productividad del agostadero.....	160
2.2. Recursos forrajeros de agostaderos de zonas semiáridas.....	161
3. Sucesión vegetal manejo de pastizales o agostaderos.....	162
4. El rebrote en especies forrajeras.....	163
5. Relación entre el forraje producido y la producción animal	164
6. Capacidad de carga del agostadero.....	166
7. La condición del pastizal y su manejo.....	169
8. Sistemas de pastoreo.....	171
9. Rehabilitación de agostaderos.....	174
9.1. Prácticas de resiembra.....	175
9.2. Prácticas mecánicas.....	181
10. Distribución de fuentes de agua.....	180
11. Suplementación	181
12. Literatura citada.....	185

INTRODUCCION

El suelo es un recurso natural básico; es un sistema dinámico, compuesto de materiales orgánicos y minerales; sus propiedades se deben al efecto integrado del clima y los organismos vivos que actúan sobre el material parental, en determinado período de tiempo. Sirve de soporte para el crecimiento de las plantas, microorganismos edáficos y microfauna; regula el destino del agua en el ciclo hidrológico y es un sistema reciclador de nutrimentos y residuos orgánicos.

Actualmente es considerado un recurso no renovable y su pérdida constituye un problema para las generaciones actuales y futuras. De acuerdo al Inventario Nacional de Tierras Erosionadas, se estima que el 81% del territorio de la República Mexicana presenta algún grado de erosión manifiesta que varía de leve a muy severa. Los procesos erosivos no son de carácter local, sino más bien regional, de acuerdo a los principios que regulan las cuencas hidrográficas.

En las cuencas existen factores ecológicos, climatológicos, hidrológicos, sociales, económicos, culturales, etc. que se interrelacionan entre sí, dando a cada cuenca su propia dinámica. La microcuenca es una parte de la cuenca y es considerada la unidad de planeación y programación de acciones, donde se pueden desarrollar y coordinar los servicios integrados de las instituciones.

En las condiciones actuales, cuando el deterioro de los recursos naturales es acelerado y se busca el manejo integrado de los recursos para alcanzar índices de sostenibilidad aceptables, el concepto de microcuenca como unidad de manejo, puede ser estratégico, si además de las condiciones físico-biológicas, se consideran las condiciones sociales y económicas de sus habitantes.

Lo ideal es alcanzar un balance entre la conservación del suelo y el manejo integral de los recursos que dependen de él, lo cual implica la planeación del uso y conservación del suelo, con un enfoque más amplio del que se puede tener a nivel local, considerando e integrando los siguientes aspectos: 1) las condiciones, inquietudes y oportunidades de los productores de las microcuencas en la programación de las acciones de manejo; 2) los programas y mecanismos institucionales promovidos por los tres órdenes de gobierno (federal, estatal y municipal); y 3) el conocimiento científico y tecnológico generado por las instituciones de investigación, para implementar dichas acciones.

El Gobierno del Estado de San Luis Potosí, a través de la Secretaría de Desarrollo Agropecuario y Recursos Hidráulicos (SEDARH), impulsa el “PROGRAMA ESTATAL DE MICROCUENCAS” en coordinación operativa con el Fideicomiso de Riesgo Compartido (FIRCO) y la Comisión Nacional de las Zonas Áridas (CONAZA). En este programa participan instituciones del Gobierno Federal, Estatal y Municipal, integradas en el Comité Estatal de Microcuencas. El Programa lleva a cabo acciones concertadas bajo un esquema integral, tomando a la microcuenca como eje de desarrollo, con la participación activa de los productores, asesorados por un técnico, donde se busca una aplicación más eficiente de los recursos financieros, materiales y humanos disponibles.

En apoyo al Programa Estatal de Microcuencas, el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), desarrolla el proyecto “**Conservación del suelo y agua en microcuencas de San Luis Potosí**”, con financiamiento de la Comisión Nacional de las Zonas Áridas (CONAZA). Entre las actividades programadas en el proyecto se encuentra la realización de la presente publicación, en la cual participa personal técnico e investigador del INIFAP, de la Universidad

Autónoma de Querétaro, del Colegio de Postgraduados y del Fideicomiso de Riesgo Compartido (FIRCO).

Esta publicación está dirigida a los técnicos que operan el programa de microcuencas en zonas áridas y semiáridas y al público en general que esté interesado en el manejo integrado de los recursos. Sus objetivos son presentar las principales prácticas agronómicas, vegetativas y mecánicas, para el manejo y conservación del suelo y agua, tales como captación “in situ” del agua de lluvia, agricultura de conservación, manejo de coberturas vegetales, cortinas rompevientos, terrazas de formación paulatina y tinas ciegas, con énfasis a tecnologías que hayan sido probadas con éxito en las zonas áridas y semiáridas.

Tomando en cuenta que las tierras utilizadas como agostaderos son las más afectadas por los fenómenos de degradación de la cubierta vegetal y erosión del suelo, también se presentan los conceptos de agostadero, pradera, componentes del agostadero, carga animal y coeficiente de agostadero, así como las principales prácticas de manejo y rehabilitación de pastizales, para que los técnicos identifiquen las tecnologías más apropiadas a cada microcuenca en particular, a fin de realizar la mejor elección de sitios a resembrar, selección de especies, métodos de siembra, así como las principales acciones que pueden establecerse en este tipo de tierras, dentro de los programas de las microcuencas.

Catarina Loredo Osti

AGRICULTURA DE CONSERVACION PARA LA PRODUCCION DE CULTIVOS

Miguel Angel Martínez Gamiño¹

1. INTRODUCCION

El modelo de producción agrícola actual, basado en el éxito de la revolución verde, alcanzó su clímax en la década de los 60's, del siglo pasado; sin embargo, este sistema intensivo de producción no consideró los efectos negativos en el ambiente, causados por el uso de tecnologías inicialmente impactantes, tales como la mecanización, altas dosis de fertilizantes químicos y el empleo de plaguicidas. En forma paralela a ese modelo de producción, en diferentes partes del mundo, se inició un movimiento con un enfoque de protección ecológica, denominado Agricultura de Conservación, que combina la labranza de conservación con la rotación de cultivos (Abelson, 1995; Hamblin, 1995; Jiménez y Lamo, 1998).

En la Agricultura de Conservación, se promueve evitar el barbecho durante la preparación del terreno para la siembra, debido a que esta práctica disemina la materia orgánica que se acumula en la superficie del suelo, afecta desfavorablemente su estructura, reduce la capacidad de infiltración del agua y aumenta el riesgo de erosión (Faulkner, 1974). Entre las bondades de la Agricultura de Conservación, se encuentran las siguientes: incremento de la materia orgánica, mayor retención de humedad, reducción del riesgo de erosión por una mayor protección del suelo contra el impacto de las gotas de lluvia y reducción de costos en la preparación de la cama de siembra hasta en 50%.

¹ Investigador Titular del Campo Experimental San Luis, CIRNE, INIFAP.

En las zonas áridas y semiáridas, existe la costumbre de barbechar el suelo y de utilizar todo el rastrojo como alimento del ganado; por ello, el concepto de Agricultura de Conservación debe ser asimilado paso a paso por los productores. Inicialmente, se debe cambiar el método tradicional de preparación del suelo (barbecho más rastra) por un sistema de labranza de conservación.

De acuerdo a experiencias del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) en San Luis Potosí, este paso se logra con más éxito, si los productores reciben incentivos (por ejemplo, apoyos para la adquisición de implementos) y si el sistema de labranza propuesto no compite con las necesidades de forraje para alimentar al ganado. La inclusión de cultivos forrajeros puede proveer para el ganado, un alimento de mayor calidad nutricional que el rastrojo (Martínez, 2000).

En este capítulo se presentan los principales resultados de investigación sobre Agricultura de Conservación, obtenidos por el INIFAP en la producción de cultivos en el Altiplano y Zona Media de San Luis Potosí, así como la descripción del método de preparación del suelo con el multiarado, a fin de que los técnicos y productores de estas zonas cuenten con información que norme su decisión de ingresar a un nuevo estilo de agricultura en armonía con la naturaleza.

2. ANTECEDENTES

Uno de los aspectos críticos en la mecanización de la agricultura es la preparación del suelo con métodos que invierten el perfil entre cero y 30 cm de profundidad y cambian desfavorablemente sus propiedades físicas, químicas y biológicas. Durante más de 100 años se ha aceptado que el barbecho y el rastreo son la única alternativa previa a la siembra, sin tomar

en cuenta el tipo de suelo, clima, cultivo, así como las experiencias científicas locales (Figueroa y Morales, 1992).

Sin duda, el cambio de tracción animal por tracción mecánica fue un gran logro tecnológico que ayudó a optimizar tiempo y esfuerzo en las labores agrícolas; sin embargo, el cambio constante en la estructura del suelo, ha ocasionado deterioros como erosión, encostramiento y compactación superficial, reducción en la velocidad de infiltración del agua, pérdida de nutrimentos, disminución de la materia orgánica, alteración de la fauna edáfica y disminución en el rendimiento de cosechas (Black, 1973; Wilson, 1978; Post *et al.*, 1990; FAO, 1992; Reicosky y Lindstrom, 1993; Ismail *et al.*, 1994; y Navarro *et al.*, 2000).

Cuando el barbecho y el rastreo se realizan antes del inicio de las lluvias, la superficie del suelo queda expuesta a la energía cinética de las gotas de agua, generando problemas de erosión. En la agricultura de conservación, las partículas de suelo no están desmenuzadas y la superficie del suelo está protegida total o parcialmente con rastrojo o paja de cultivos anteriores. Esto reduce en 80% las pérdidas de suelo, en comparación con la labranza tradicional (Tiscareño y Báez, 2000). La superficie del suelo debe estar cubierta al menos en 30% para reducir la erosión a niveles tolerables (FAO, 1992).

Otras bondades que se obtienen con la labranza de conservación son: mayor captación y retención de agua en el suelo, incremento en la velocidad de infiltración, reducción del escurrimiento y aumento en la materia orgánica del suelo (Post *et al.*, 1990; Magdoff, 1992; Roming *et al.*, 1995).

3. TIPOS DE LABRANZA

La labranza es toda acción mecánica que altere la estructura del suelo a fin de proporcionar las condiciones adecuadas para la siembra y germinación de semillas, así como el desarrollo de raíces y planta (Velásquez *et al.*, 1997). La labranza primaria se realiza para preparar la cama de siembra; su objetivo es remover la vegetación presente, reducir la compactación y promover la rugosidad superficial a través de la formación de terrones en el suelo; se realiza con arado de vertedera, cinceles, arado de discos, subsolador y rastra de discos (Benites, 1992). La labranza secundaria implica el movimiento del suelo después de la siembra, para romper costras superficiales, arrojar humedad y aflojar el suelo (FAO, 1992).

Labranza convencional. Son las operaciones de labranza primaria y secundaria adoptadas en una región. En las zonas agrícolas de México se refiere generalmente a las acciones de barbechar y rastrear (Angeles y Rendón, 1994).

Labranza mínima o reducida. Consiste en omitir el barbecho en la preparación del suelo. Se puede emplear únicamente la rastra, o cinceles especializados como el “*vibrocultor*”, o la “*pata de ganso*”. Los residuos vegetales son incorporados en la capa superficial del suelo con la rastra; mientras que, con los implementos que no invierten el perfil, éstos permanecen en la superficie. El control de la maleza puede ser mecánico, mediante escardas o combinado con herbicidas (Jiménez y Lamo, 1998).

Labranza cero. En este tipo de labranza, no se realiza movimiento del suelo. La siembra se efectúa en forma directa y solo se abre una pequeña franja de suelo en donde se deposita el fertilizante y la semilla. Se reduce la cantidad de energéticos empleados. El control de la maleza antes de la

siembra y durante el desarrollo del cultivo se realiza con herbicidas (Unger, 1988).

Labranza en surcos. La siembra se realiza en los surcos formados durante las escardas del cultivo anterior. La erosión del suelo se controla al dejar del 30 al 50% de residuos de la cosecha anterior, hasta el momento de sembrar. Sin embargo, durante la siembra se emplea maquinaria con limpiadores para despejar el lomo del surco. Con este método se puede evitar el uso de herbicidas y controlar la maleza con una o dos escardas. La labranza en surcos es adecuada para suelos con problemas de drenaje.

Labranza en franjas. Únicamente se remueven franjas aisladas del suelo para realizar la siembra, el resto del terreno queda intacto. Generalmente se quita la cubierta de residuos de cosecha en la franja que se prepara por lo cual se reduce su efectividad para controlar la erosión del suelo. Se puede combinar con la labranza en surcos para realizar escardas y reducir la cantidad de herbicida en el control de la maleza (Pérez y Velásquez, 1997).

Labranza de conservación. Es la combinación de la labranza cero y el manejo de coberturas. Implica cubrir por lo menos el 30% de la superficie del suelo con rastrojo o paja. Se refiere también a métodos que permitan romper el endurecimiento del suelo sin invertir su perfil, tales como el cincel, vibrocultor, multiarado y subsuelo. En este sistema, la cama de siembra solamente es alterada durante la siembra directa, los residuos de cosecha no se incorporan al perfil del suelo y se dejan sobre la superficie, generando un mantillo (Erenstein, 1999).

Labranza de conservación con el multiarado. El “multiarado” (Figura 1), está conformado por un cincel modificado con una punta de arado y aletas cortadoras. Este implemento rotura el suelo dejando los residuos de

cosecha en la superficie. Las aletas cortadoras trozan las raíces de las plantas presentes, lo cual favorece el control de malezas; facilita también el control de los rebrotes de cultivos como el sorgo y la avena.

El método de labranza de conservación con el “multiarado” consiste en la roturación del suelo después de la cosecha del cultivo anterior. Se debe realizar cuando el suelo tenga una humedad intermedia, es decir, ni muy húmedo, ni muy seco.



Figura 1. Fotografía del multiarado formado por un cincel con una punta de arado y aletas cortadoras.

Con el “multiarado” el suelo se rotura en forma vertical y horizontal, a diferencia de los cinceles tradicionales, los cuales aran el suelo solamente en forma vertical. La principal ventaja de esta roturación horizontal es el incremento en la infiltración del agua. Para aprovechar mejor la lluvia, se recomienda que la roturación con el “multiarado” se

realice en el sentido de los surcos o hileras de plantas, de esta forma el agua de lluvia penetra directamente en la zona de raíces del cultivo.

Como parte de la Agricultura de Conservación, es conveniente cubrir 30% de la superficie del suelo, lo cual se logra con 2 ton/ha de rastrojo o paja del cultivo anterior. Una propuesta intermedia consiste en dejar sobre el suelo los residuos que queden después de cosechar el rastrojo o paja y evitar el pastoreo. Durante el desarrollo del cultivo, la maleza se controla con una o dos escardas. Para esta labor se deben usar las cuchillas más cortas del “multiarado” y calibrar bien las distancias para no dañar el sistema radical del cultivo.

Con el uso del “multiarado” se logra preparar una hectárea por hora (con un tractor de 70 HP a una velocidad de 20 km/hr), a diferencia de las cuatro horas por hectárea empleadas con el barbecho; el costo de la preparación del suelo se reduce 50% en relación con el costo del barbecho y 75% en tiempo.

La principal desventaja del multiarado se presenta en suelos secos, compactados y/o con gramilla, en donde su penetración se ve limitada. Cuando la parcela a trabajar, presente una fuerte infestación de maleza, problemas de encostramiento superficial o endurecimiento del perfil, la mejor opción es realizar la labranza tradicional (barbecho y rastra), donde se incluyan actividades para el control de la maleza durante el ciclo de cultivo. En el siguiente ciclo agrícola, se podrá implementar la labranza de conservación con el multiarado. Esta decisión debe ser avalada por un técnico especialista. Por ningún motivo, la labranza de conservación se debe iniciar en un terreno agrícola inactivo por uno o más ciclos.

4. LA AGRICULTURA DE CONSERVACION EN SAN LUIS POTOSI

El INIFAP inició el establecimiento de módulos de labranza de conservación con fines de investigación a partir de 1995. Se trabajó bajo condiciones de riego en dos localidades, una en el Campo Experimental San Luis en el Altiplano y la otra en el Campo Auxiliar El Refugio en Rioverde. La clasificación del suelo en el Altiplano corresponde a un Castañozem cálcico (FAO-UNESCO-ISIRIC, 1988), de textura franco arcillosa, pH de 7.8 y 2.5% de MO. En Rioverde el suelo se clasifica como un Vertisol cálcico, de textura arcillosa, pH 8.2 y 2.5 % de MO.

En condiciones de temporal, los trabajos de investigación en labranza de conservación –específicamente con el uso del multirado– iniciaron en 1999, en los municipios de Villa de Arriaga y Cerritos, S.L.P. En ambos, no se trabajó con coberturas vegetales, debido a que los residuos de cosecha son utilizados en su totalidad por los productores.

4.1. CONDICIONES DE RIEGO

Los resultados que se presentan a continuación fueron evaluados en condiciones de riego, durante el período 1999-2001, en un módulo donde los tratamientos de labranza de conservación se aplicaron desde 1995. Las variables de suelo evaluadas fueron densidad aparente, infiltración, humedad, materia orgánica y relación carbono/nitrógeno. En los cultivos se estimó rendimiento y relación beneficio/costo.

Densidad aparente (Da)

La Da expresa la relación entre la masa de suelo seco y su volumen total (Hillel, 1980). Los resultados que se presentan en este capítulo fueron obtenidos por el método del terrón (Tovar, 1981). En la Figura 2 se presentan los resultados de Da al final del ciclo de cultivo 2001,

en tratamientos de labranza establecidos desde 1995 en en el Altiplano Potosino. Los tratamientos con barbecho más rastra (B+R), rastra (R) y cinceles (Ci) registraron los valores más altos de Da en el perfil del suelo de los 0 a los 5 cm (1.25, 1.34 y 1.34 g/cm³ respectivamente) comparados con los obtenidos con labranza de conservación (LC) con 0% de cobertura vegetal (C) y LC+100%C (1.19 y 1.15 g/cm³). En la Zona Media, el B+R registró una Da de 1.46 g/cm³ que fue relativamente mayor a 1.36 g/cm³ obtenido en LC+100%C en el estrato de 0-5 cm.

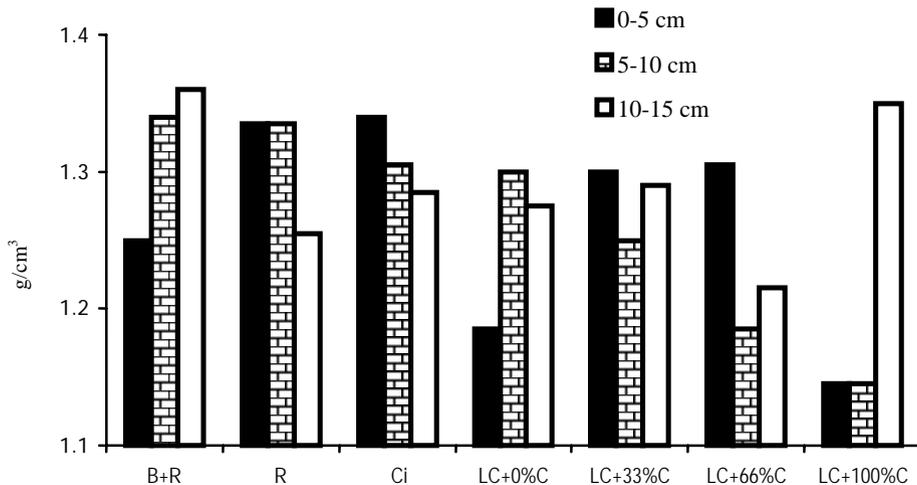


Figura 2. Densidad aparente del suelo con diferentes métodos de labranza en el Altiplano Potosino (B: barbecho; R: rastreo; Ci: cinceleo; LC: labranza de conservación; C: cobertura vegetal)

Al reducir los valores de Da se infiere un incremento en la porosidad lo cual puede deberse a la no alteración de la estructura, así como a la porosidad producida por la fauna edáfica y las raíces.

Infiltración

La infiltración es el proceso de entrada de agua al perfil del suelo a través de su superficie (Horton, 1933; Hillel, 1980; Schuab *et al.*, 1981). Los datos que se reportan a continuación fueron obtenidos con el método del doble cilindro. La velocidad de infiltración inicial y final obtenida en el tratamiento LC+0%C (10.5 y 1.0 cm/hr), fue mayor a la registrada en el tratamiento B+R (1.0 y 0.2 cm/hr) (Figura 3). La lenta infiltración registrada en B+R fue evidente después de cada riego: el agua tardaba hasta tres días para infiltrarse, mientras que en el tratamiento LC+0%C el agua se infiltraba en menos de una hora después de finalizar el riego. Sin embargo, en el tratamiento LC+100%C se tuvieron resultados muy parecidos a B+R.

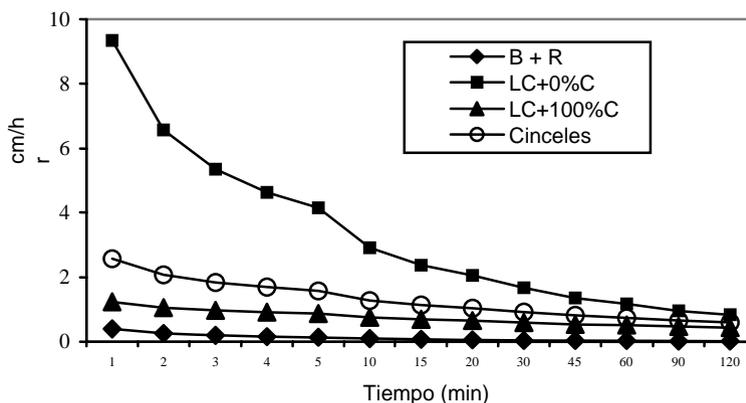


Figura 3. Infiltración del agua en el suelo con diferentes métodos de labranza en el Altiplano Potosino (B: barbecho; R: rastreo; LC: labranza de conservación; C: cobertura vegetal)

En la Figura 4 se observan resultados obtenidos en la Zona Media de San Luis Potosí, donde la diferencia de la infiltración inicial en el B+R

llegó a ser hasta de 30 mm/hr favorable a LC+33%C y LC+0%C, lo cual refleja el efecto benéfico de la LC para las características hidráulicas de los suelos tipo Vertisol. De acuerdo a este estudio lo más conveniente es manejar una cobertura de 33%.

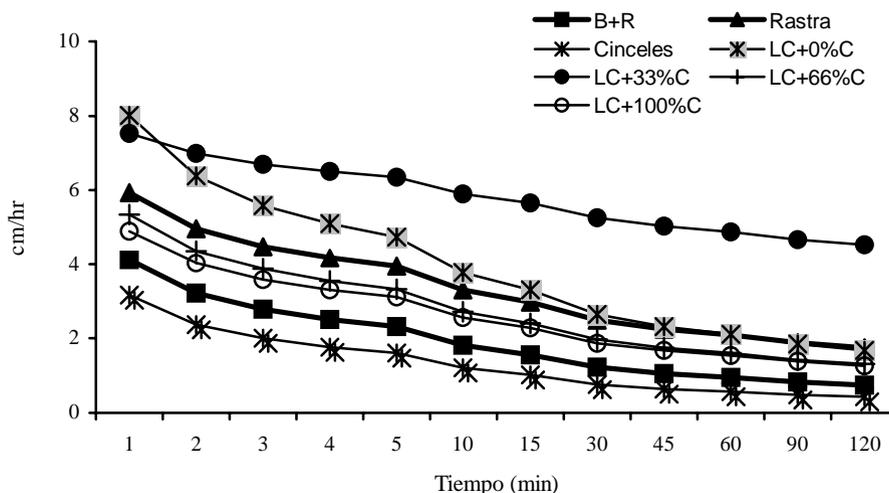


Figura 4. Infiltración del agua en el suelo con diferentes métodos de labranza en la Zona Media Potosina

Humedad del suelo

Una de las bondades de los residuos de cosecha que se dejan en la superficie del suelo cuando se practica la Agricultura de Conservación es la reducción de la evaporación del agua, lo cual se traduce en un incremento en la humedad del suelo. En la Figura 5 se presenta el porcentaje de humedad del suelo estimado por el método gravimétrico, en diferentes tratamientos de labranza en el Altiplano Potosino, para el cultivo de avena.

Se observa que el tratamiento LC+100%C mantuvo una mayor humedad en el suelo a los 68, 92 y 124 días después de la siembra, superando con 26, 17 y 57% respectivamente a la humedad observada en el tratamiento B+R. Estos resultados coinciden con lo señalado por Narro, (1994) y Pérez y Velázquez, (1997).

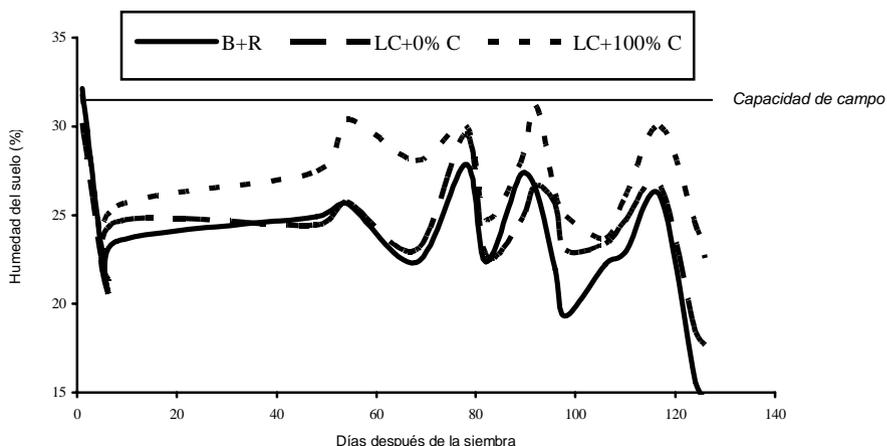


Figura 5. Humedad del suelo (0-15 cm) durante el cultivo de avena forrajera con diferentes métodos de labranza en el Altiplano Potosino.

La humedad del suelo durante el ciclo del cultivo de maíz se observa en la Figura 6 en donde se redujeron dos riegos en los primeros 50 días en el tratamiento de LC+100%C en relación al B+R. Esta reducción en el número de riegos fue debido a una mayor conservación de la humedad en el suelo a consecuencia de la labranza cero y los residuos de cosecha en la superficie.

En Rioverde, el contenido de humedad del suelo fue muy similar para todos los tratamientos durante el ciclo de cultivo en la rotación avena-maíz-frijol, lo cual se puede deber a las altas temperaturas registradas durante el ciclo PV (40-45°C), que propiciaron la rápida mineralización de los residuos de cosecha. Lo anterior ocasionó que el número de riegos fueran similares en la labranza tradicional y LC.

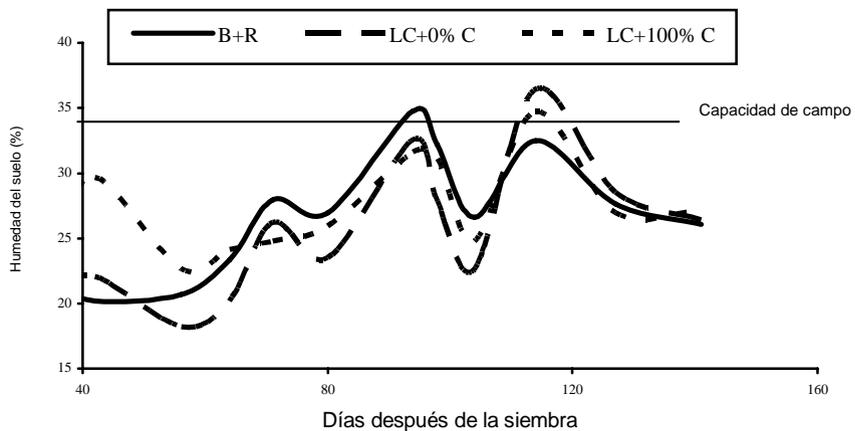


Figura 6. Humedad del suelo (0-15 cm) durante el cultivo de maíz con diferentes métodos de labranza en el Altiplano Potosino.

Estos resultados muestran que la respuesta de los cultivos a la labranza de conservación varía en función del clima. Es un error el asegurar que la labranza de conservación (labranza cero más residuos de cosecha) es una alternativa de preparación del suelo que funciona igual en las diferentes regiones agroecológicas de México. El barbecho y rastreo han sido recomendados por más de cien años sin evidencias científicas, por lo que se debe evitar realizar lo mismo con la labranza de

conservación. Cada zona requiere sus estudios específicos para determinar si existe efecto positivo de la labranza de conservación y cual es el mejor método.

Materia orgánica y relación carbono / nitrógeno.

La acumulación de materia orgánica (MO) en suelos agrícolas es el resultado de la descomposición de los residuos vegetales y animales. Al barbechar o rastrear se evita la formación de una cubierta orgánica en la superficie. El contenido de MO en el Altiplano Potosino registró un incremento con los tratamientos de LC con cobertura; para el estrato de 0-5 cm, la MO se incrementó de 2.5% en B+R a 3.1% en LC+100%C. Dado que no hay inversión del perfil en LC, la cantidad de MO en los estratos de 5-10 y de 10-25 cm se mantuvieron en el mismo nivel que el resto de los tratamientos incluyendo B+R (Figura 7).

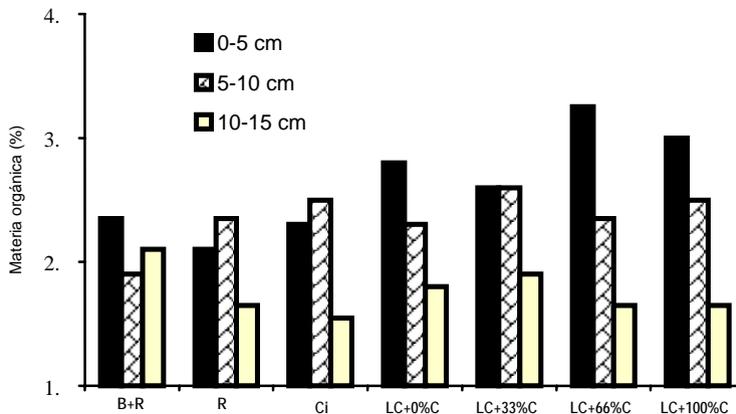


Figura 7. Contenido de materia orgánica del suelo con diferentes métodos de labranza en el Altiplano Potosino (B: barbecho; R: rastreo; Ci: cinceleo; LC: labranza de conservación; C: cobertura vegetal).

La formación de una cubierta orgánica en la superficie del suelo llega a presentar inconvenientes en cuanto a la disponibilidad de nitrógeno (N) por los cultivos (para descomponer los tejidos vegetales se requiere la acción microbiana, la cual demanda también N). Un parámetro para determinar la cantidad de residuos en el suelo que está en equilibrio con la demanda de N por los microorganismos es la relación carbono/nitrógeno (C/N).

En la Figura 8 se aprecia una tendencia a incrementar el valor de C/N en los tratamientos con cobertura, con relación al B+R para el estrato de 0-5 cm, aumentándose la competencia por N entre el cultivo y los residuos de cosecha en los tratamientos con LC. Este efecto negativo en la disponibilidad de N fue más evidente en avena, dado que se sembró enseguida de la aplicación del rastrojo.

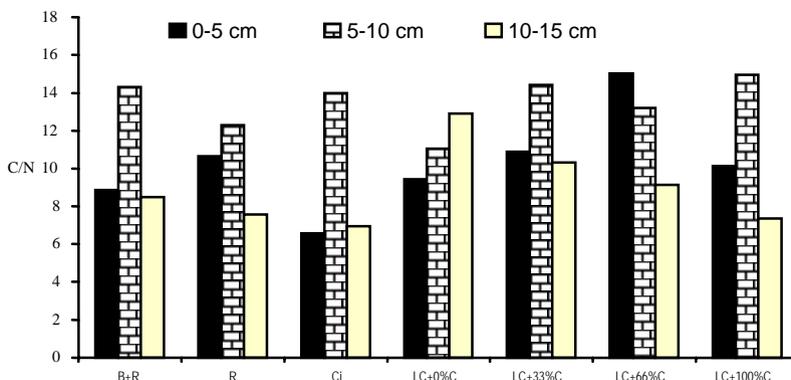


Figura 8. Relación carbono/nitrógeno (C/N) en tres profundidades de suelo bajo diferentes métodos de labranza en el Altiplano Potosino (B: barbecho; R: rastreo; Ci: cinceleo; LC: labranza de conservación; C: cobertura vegetal)..

Rendimiento

Los rendimientos obtenidos en la rotación maíz-avena forrajera en el Altiplano Potosino se presentan en el Cuadro 1. Se presentó una tendencia a incrementar la productividad del cultivo de avena forrajera con LC+0%C en un 16% con respecto a B+R. A partir de la introducción del arado como implemento de barbecho se ha mantenido la afirmación de que dicha acción ha sido siempre benéfica para los cultivos pero sin evidencias científicas. No se debe descartar por este hecho el uso del barbecho a priori, pues el rendimiento obtenido con B+R (5.9 ton/ha) está entre los más altos para el caso de la avena.

Cuadro 1. Rendimientos en la rotación maíz-avena forrajera de riego con diferentes métodos de labranza en el Altiplano Potosino en el periodo 1999-2000

Tratamientos	Avena forrajera (MS) ton/ha	Maíz grano ton/ha	Maíz rastrojo (MS) ton/ha	Forraje total (MS) ton/ha
Barbecho + rastra	5.922	3.604 c	7.035	12.957
Rastra	3.633	4.638 bc	7.592	11.225
Cinceles	6.030	6.008 ab	10.376	16.406
Labranza cero + 0%cobertura	6.874	6.743 a	9.677	16.551
Labranza cero + 33%cobertura	5.403	6.414 ab	10.499	15.902
Labranza cero + 66%cobertura	4.888	6.871 a	10.466	15.354
Labranza cero + 100%cobertura	3.894	6.472 a	10.273	14.167

Medias con la misma literal no presentan diferencia estadística significativa ($p=0.05$)

Es importante señalar que con R y LC+100%C se obtuvo una reducción en el rendimiento de avena de 39% y 34% respectivamente en comparación con B+R. Para el caso de la R, lo anterior se explica por la mayor compactación del perfil del suelo después de los primeros 20 cm, es decir que la rastra invierte el perfil del suelo solo los primeros 20 cm pero

debajo de esta capa incrementa la compactación del suelo, impidiendo un adecuado desarrollo radical en la avena. En cuanto al tratamiento con LC+100%C, esta reducción en el rendimiento se explica como el resultado de una mayor competencia de la avena con los microorganismos encargados de descomponer el rastrojo dejado en la superficie del suelo.

En la producción de maíz grano se obtuvieron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre tratamientos. El mejor rendimiento se registró con LC+66%C (6.871 ton/ha), lo cual representó un aumento de 90% en relación con el B+R. Para el caso del maíz, la cobertura de rastrojo en el suelo demostró ser un agente que influyó en mayor retención de humedad, aporte de nutrimentos y mejores condiciones físicas del suelo que favorecieron el desarrollo del maíz en los tratamientos con LC y Ci. En el tratamiento B+R fue evidente un encostramiento superficial del suelo y una fuerte compactación en la zona de raíces desde el primer riego y después de cada riego de auxilio. En los tratamientos con LC con y sin residuos de cosecha no se observó este efecto.

La principal diferencia en la respuesta a los métodos de labranza entre avena y maíz es la mayor demanda de agua en el ciclo primavera-verano (PV), época en que se cultivó el maíz, a la de otoño-invierno (OI), cuando se desarrolló la avena. Durante el ciclo de cultivo del maíz, el rastrojo redujo la evaporación del agua, incrementando la humedad disponible en el suelo. En el caso de la avena forrajera no se tuvo una reducción en el número de riegos entre tratamientos, mientras que en el caso del maíz se obtuvo un ahorro de dos riegos en los tratamientos con LC en relación con aquellos en donde el suelo no se protegió con residuos de cosecha.

Con relación a la producción de rastrojo, en los tratamientos LC+33%C y LC+66%C la producción se incrementó en 50% en relación

con la registrada en B+R. Esta diferencia de 3.448 ton/ha brinda la posibilidad de dejar una cobertura de rastrojo de 2.0 ton/ha para obtener una cobertura de 50% de la superficie del suelo, sin reducir la cantidad de rastrojo que se cosecha en B+R, considerando que después de dejar las 2.0 ton/ha como cobertura en los tratamientos con LC+33%C y LC+66%C, se dispondría de 8.483 ton/ha de rastrojo, lo cual es 20% mayor al rastrojo obtenido en B+R.

Sobresalieron los rendimientos de avena forrajera, maíz grano y rastrojo del tratamiento Ci, en donde no se invirtió el perfil y no se emplearon residuos de cobertura. Este método de labranza es recomendable en suelos que se compactan y que presentan problemas de drenaje. La bondad de dejar residuos de cosecha en la superficie del suelo se justifica por el ahorro de agua de riego durante el ciclo del maíz, así como el incremento en la materia orgánica y conservación de la estructura del suelo.

Los rendimientos obtenidos en la Zona Media, en la rotación avena-maíz-frijol, se presentan en el Cuadro 2. En esa zona, en avena forrajera se detectaron diferencias estadísticas entre tratamientos ($p \leq 0.05$). La mayor producción se obtuvo en el tratamiento LC+33%C con 6.838 ton/ha, aunque este rendimiento fue estadísticamente similar al obtenido por los tratamientos de B+R, LC+66 y 100%C. Los tratamientos de rastra (R) y cinceles (Ci) obtuvieron los rendimientos más bajos con un promedio de 5.458 ton/ha, que representa una reducción del 18% en comparación con B+R.

En maíz, los mejores tratamientos fueron LC+66%C y R, los cuales superaron en 50% al B+R. Al igual que en el Altiplano Potosino, el tratamiento de LC+100%C obtuvo una reducción en el rendimiento de maíz en relación con el resto de los tratamientos con LC, incluyendo LC+0%C.

En esta zona no se tuvo un efecto tan contrastante entre tratamientos en la humedad del suelo como en el Altiplano Potosino, lo cual se reflejó en los rendimientos. La producción de rastrojo tuvo una tendencia similar a la registrada en rendimiento de grano, sin embargo, la diferencia entre LC+33%C y B+R fue de 3.382 ton/ha, lo que implica una ganancia superior a las 2.0 ton/ha necesarias para cubrir 50% de la superficie del suelo.

Cuadro 2. Rendimientos en la rotación avena forrajera-maíz-frijol de riego con diferentes métodos de labranza en la Zona Media Potosina en el periodo 1999-2000.

Tratamientos	Avena forrajera (MS) ton/ha	Maíz grano ton/ha	Maíz rastrojo (MS), ton/ha	Frijol ton/ha	Forraje total (MS) ton/ha
Barbecho + rastra	6.677 ab	3.935 c	6.336 cd	1.370 a	13.013
Rastra	5.293 c	5.442 ab	6.025 d	1.590 a	11.318
Cinceles	5.623 c	4.672 bc	7.701 b	1.192 a	13.324
Labranza cero +0% Cob.	6.002 bc	4.766 bc	6.255 cd	0.884 a	12.257
Labranza cero +33% Cob.	6.838 ab	4.709 bc	7.309 bc	1.066 a	14.147
Labranza cero + 66% Cob.	6.487 ab	6.309 a	9.718 a	1.187 a	16.205
Labranza cero +100% Cob.	6.532 ab	3.647 c	7.027 bcd	0.985 a	13.559

Medias con la misma literal no presentan diferencia estadística significativa (DMS $p=0.05$).

En el cultivo del frijol los resultados son de un ciclo agrícola, dado que en el ciclo 1999 el cultivo se siniestró por una helada temprana ocurrida en el mes de octubre. Se tuvo una tendencia a incrementar en 16% el rendimiento con R en comparación con el B+R.

En la Zona Media, los rendimientos obtenidos con R en maíz y frijol estuvieron entre los mejores, mientras que en la producción de avena forrajera y rastrojo de maíz, el tratamiento de LC+66%C fue el sobresaliente. Este contraste en la respuesta de los cultivos indica que un método de labranza no siempre funciona mejor con todos los cultivos; sin embargo, los productores no consideran la siembra de cultivos aislados

sino de sistemas de producción agrícola. Al considerar la producción de forraje total, avena más rastrojo, los tratamientos de LC+33%C y LC+66%C sobrepasaron con 2.163 ton/ha al B+R, pero la producción total de forraje en esta rotación supera en general en un 100% a la cantidad de rastrojo que se obtendría con el maíz como monocultivo. Este incremento en la disponibilidad de rastrojo hace más atractivo el uso de la labranza de conservación con residuos de cosecha.

Relación beneficio/costo

La relación beneficio/costo (B/C) en este sistema de producción agrícola, así como los costos de producción por hectárea se presentan en el Cuadro 3. Los costos de producción más bajos (\$7,129.13, \$7,221.10 y \$7,601.00) se obtuvieron en los tratamientos LC+0%C, R y Ci respectivamente, para una reducción de 12, 11 y 6% en relación con los costos del B+R. Al obtener la relación B/C, el mejor tratamiento fue el de LC+0%C con 3.74 seguido por Ci con 3.34 y LC+33%C con 3.14 contra 2.26 del B+R. Lo anterior implica que para el caso de los tratamientos de LC con residuos de cosecha, los costos de producción se incrementaron a causa del valor dado a la cantidad de rastrojo empleado como cobertura del suelo.

Al considerar el costo del rastrojo no se reflejen los mayores beneficios brutos de la LC con cobertura, los cuales en promedio superaron en \$7,229.00 a los obtenidos con B+R. Se debe buscar una estrategia para motivar a los productores a dejar residuos de cosecha en el suelo dados los beneficios positivos en las características edafológicas y rendimientos de maíz y rastrojo, aun cuando financieramente no sea tan atractivo; lo importante es considerar el costo del suelo y nutrientes perdidos por erosión y la destrucción de la estructura del suelo.

Cuadro 3. Relación beneficio / costo (B/C) en la rotación maíz-avena forrajera de riego con diferentes métodos de labranza en el Altiplano Potosino en el periodo 1999-2000

Tratamientos	Costos de producción (\$/kg)		Costos totales (\$/ha)	Ingresos brutos (\$/ha)	B/C
	Avena	Maíz			
Barbecho + rastra	0.65	1.18	8,097	18,363	2.27
Rastra	0.93	0.83	7,221	18,182	2.52
No inversión del suelo (C)	0.58	0.68	7,601	25,418	3.34
Labranza cero +0%cobertura	0.48	0.57	7,129	26,666	3.74
Labranza cero +33%cobertura	0.72	0.66	8,120	25,523	3.14
Labranza cero +66%cobertura	0.93	0.71	9,422	25,661	2.72
Labranza cero +100%cobertura	1.33	0.86	10,710	23,875	2.23

En relación al análisis de rentabilidad de la Zona Media, (Cuadro 4), los menores costos se registraron en los tratamientos R y Ci con una reducción de 9 y 15% respectivamente en comparación con B+R.

Cuadro 4. Relación beneficio / costo (B/C) en la rotación avena forrajera-maíz-frijol de riego con diferentes métodos de labranza en la Zona Media Potosina en el periodo 1999-2000

Tratamientos	Costos de producción (\$/kg)			Costos totales (\$/ha)	Ingresos brutos (\$/ha)	B/C
	Avena	Maíz	Frijol			
Barbecho + rastra	0.57	1.07	3.52	12,893	25,796	2.00
Rastra	0.69	0.68	2.74	11,726	27,431	2.34
No inversión del suelo	0.69	0.73	3.33	11,012	26,292	2.39
Labranza cero +0%cobertura	0.56	0.66	4.19	10,200	23,826	2.34
Labranza cero +33%cobertura	0.56	0.76	3.62	11,268	26,541	2.36
Labranza cero +66%cobertura	0.66	0.63	3.62	12,576	31,604	2.51
Labranza cero +100%cobertura	0.72	1.22	4.81	13,898	23,955	1.72

Aun cuando se obtuvo una respuesta biológica positiva del maíz para producir el rastrojo que se deja de cobertura, el costo dado al rastrojo incrementó los costos de producción hasta en un 46% en el tratamiento de LC+100%C comparado con LC+0%C. Sin embargo, este aumento se equilibró con la mejor respuesta en producción de los tres cultivos involucrados en la rotación y que se reflejó en la mejor relación B/C del tratamiento LC+66%C, además de que R, C, LC+0%C y LC+33%C obtuvieron una relación B/C promedio de 2.36, por lo que las opciones con menor riesgo de inversión fueron R y C.

4.2. CONDICIONES DE TEMPORAL

El INIFAP ha obtenido experiencias de Agricultura de Conservación en condiciones de temporal en los municipios de Villa de Arriaga y Cerritos, S.L.P. En ambos municipios no se trabajó con coberturas vegetales, debido a que los residuos de cosecha son utilizados en su totalidad por los productores para alimentación del ganado. Al no dejar residuos en la superficie del suelo se generó una situación de extrema compactación, por lo cual fue necesario cambiar el tratamiento de LC con siembra directa por el de LC con multiarado.

En Villa de Arriaga, durante el ciclo agrícola PV 1999, se presentó un problema de compactación del suelo en el tratamiento (LC), después de dos años sin barbecho o rastra de discos. La dureza de la superficie del suelo impidió, la siembra de maíz, frijol y sorgo x sudán. La cebada y avena forrajera se pudieron sembrar gracias a que se dio un paso de rastra para tapar la semilla durante la siembra, de lo contrario se hubiera tenido el mismo problema que en los cultivos de surco. El disco cortador de la sembradora de cero labranza no penetró más de 5 cm superficiales para depositar la semilla a una profundidad de 5 a 8 cm. En ese ciclo, el

rendimiento de maíz, frijol y sorgo x sudán fue nulo (Cuadro 5), evidenciando la necesidad de cambiar la metodología en el tratamiento de LC.

Cuadro 5. Rendimiento de maíz, sorgo, avena, cebada, maíz-frijol y frijol con diferentes métodos de labranza bajo condiciones de temporal en Villa de Arriaga, S.L.P., durante el ciclo agrícola primavera-verano 1999

Tratamientos	Maíz (Ton/ha MS de forraje)	Sorgo (Ton/ha MS de forraje)	Avena (Ton/ha MS de forraje)	Cebada (Ton/ha MS de forraje)	Maíz-frijol (Ton/ha de grano)	Frijol (Ton/ha de grano)
Cero labranza, fertilizado	0 c	0 c	2.0 c	1.1 b	0 b	0 b
Cero labranza sin fertilizar	0 c	0 c	1.2 c	0.5 c	0 b	0 b
Rastra, fertilizado	10.3 a	8.2 a	4.2 ab	2.1 a	2.2 a	0.4 a
Rastra sin fertilizar	6.9 ab	4.9 b	1.8 c	1.4 a	2.8 a	0.4 a
B+R, fertilizado	8.6 a	6.9 a	4.3 a	2.1 a	3.9 a	0.4 a
B+R sin fertilizar	7.9 a	2.6 c	1.7 c	1.3 b	2.6 a	0.5 a

Medias con la misma literal son estadísticamente iguales, (p=0.05).

En el ciclo agrícola PV 2000 se modificó el método de LC; en lugar de la siembra directa, se roturó el perfil del suelo pero sin invertirlo. Para tal fin, antes del inicio de las lluvias, se empleó el “multiarado”. Posteriormente y previo a la siembra se dio un paso con una rastra de picos para desterronar un poco la superficie y eliminar la primera generación de maleza. La rastra de picos es un implemento utilizado por los productores de Villa de Arriaga, para descompactar la superficie del suelo antes de la emergencia del cultivo, eliminar la primera generación de maleza y arropar la humedad en el suelo, dado que este tipo de rastreo, rompe el movimiento del agua del suelo por capilaridad en los primeros 5 cm. Para la siembra se utilizó la sembradora normal del productor. La modificación realizada al tratamiento de LC dio buenos resultados en humedad del suelo, resistencia a la penetración y rendimiento.

Humedad del suelo.

En el ciclo agrícola PV 2000, la humedad en el suelo durante el desarrollo de los cultivos fue originada por las lluvias iniciales para la siembra y tres eventos más registrados dentro de los primeros 30 días después de la siembra. Posterior a este período no se registraron lluvias. En la Figura 9 se observa como el contenido de humedad en el suelo fue mayor en los tratamientos de multiarado (LC) y B+R en relación con la R.

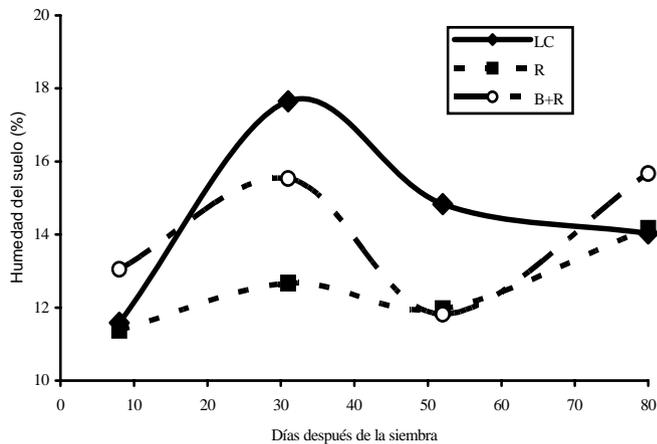


Figura 9. Humedad del suelo con diferentes métodos de labranza en Villa de Arriaga, S.L.P., durante el ciclo agrícola primavera-verano 2000.

Para el caso de LC, lo anterior se explica como un efecto de la roturación pero sin inversión del perfil del suelo con el multiarado. Aun cuando no se cuantificó, se observó que los escurrimientos en donde se empleó el multiarado se redujeron por un incremento en la rugosidad del suelo (Velásquez *et al*, 1997). El contenido de humedad del suelo fue mayor en los muestreos de los primeros 30 días después de la siembra y

que correspondieron a la presencia de las lluvias más abundantes durante el ciclo del cultivo. El contenido de humedad en el suelo con B+R fue similar a la humedad registrada en LC, como resultado de la inversión del perfil con el barbecho principalmente. En el caso de la rastra, el contenido de humedad fue menor al inicio del ciclo dado que se presentó una compactación del perfil a partir de los 10 cm de profundidad como se discutirá más adelante.

Resistencia a la penetración del suelo.

La resistencia a la penetración del suelo es una variable indicadora de la dureza del suelo; en función de esta dureza, hay facilidad o dificultad para la emergencia de las plántulas y desarrollo de las raíces. Es un índice que integra la compactación, estructura y contenido de humedad e indica de forma indirecta la resistencia a la penetración que pueden encontrar las raíces. El suelo en Villa de Arriaga, presentó una tendencia a incrementar su compactación conforme avanzó el ciclo de cultivo, lo cual está asociado con una reducción del contenido de humedad por la ausencia de lluvias. De los tratamientos evaluados en el estrato de 0-10 cm, R presentó los valores más altos, con 15.8 kg/cm², contra 8 y 4.2 kg/cm² en LC y B+R respectivamente (Figura 10). Estos valores relativamente bajos para LC y B+R son normales dado que se roturó el perfil del suelo; en el caso de la LC se confirmó la eficiencia del uso del multirrado para evitar problemas de compactación en esta localidad.

Posterior a los 30 días después de la siembra, los valores de resistencia disminuyeron en los tres tratamientos, a causa de la remoción del suelo durante la escarda. El tratamiento más beneficiado con la escarda fue el de R al reducir el valor de compactación en un 51% después de esta labor, pero superior en 113% a los valores con B+R y LC . Después de la escarda los valores de compactación en el tratamiento con

LC no presentaron cambios y se mantuvieron bajos. Es importante señalar que en el suelo superficial (0-10 cm), los valores de compactación se mantuvieron bajos y constantes en los tres tratamientos dado que no se presentaron lluvias durante este período que compactaran el suelo. Una de las ventajas observadas cuando se realizan escardas es el rompimiento precisamente de la costra superficial y la reducción de la compactación del suelo (Martínez, 1988).

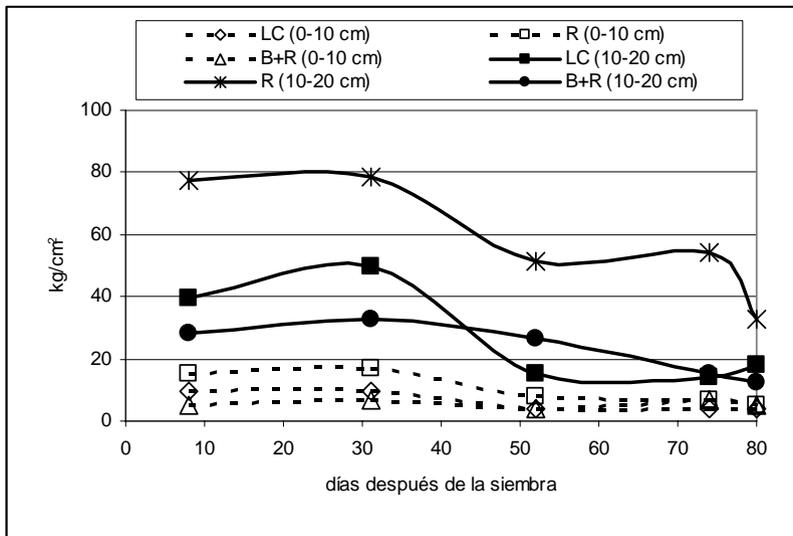


Figura 10. Resistencia a la penetración del suelo con diferentes métodos de labranza en los estratos 0-10 cm y 10-20 cm en Villa de Arriaga, S.L.P.

En la Figura 10, también se observan los valores de resistencia para el estrato de 10-20 cm, en donde la tendencia entre tratamientos fue similar a la del estrato 0-10 cm pero con valores que llegaron a 72 kg/cm² en R y que representan a un suelo con problemas fuertes de compactación

que impide el desarrollo normal de las raíces de los cultivos. Los resultados de compactación del suelo son acordes con los de humedad del suelo, dado que la infiltración del agua es mayor en suelos menos endurecidos, por lo que la humedad en los tratamientos de LC y B+R fue mayor que en R.

Rendimiento.

En Villa de Arriaga, la siembra se realizó el 26 de junio de 2000. Solamente se registraron 82.5 mm de lluvia en tres eventos durante los primeros 51 días después de la siembra, por lo que los cultivos presentaron falta de agua en todo su ciclo, principalmente en maíz y sorgo, cuya producción fue nula. Ante esta situación de sequía solamente se cuantificaron los rendimientos de los cultivos avena y cebada forrajera y los de frijol como monocultivo e intercalado con maíz.

Durante 1999, se observó respuesta positiva de los cultivos a la fertilización química, lo cual ha sido señalada en varias investigaciones en esta zona (Jasso, 1997); sin embargo, la respuesta a la fertilización está en función de la humedad favorable del suelo; los productores no fertilizan sus cultivos porque incrementa los costos de producción e incrementa el riesgo de pérdida económica en caso que no llueva.

El rendimiento de los cultivos cosechados en el ciclo agrícola PV 2000 se presenta en el Cuadro 6. En la avena forrajera el principal impacto se obtuvo con el uso de los biofertilizantes con un rendimiento promedio de materia seca de 5.83 ton/ha contra 2.684 ton/ha sin biofertilizantes, lo que representa un incremento de 117%. El tratamiento con LC obtuvo un incremento del 15% respecto al B+R, situación que pone de manifiesto la bondad del multiarado para captar más agua de lluvia, incrementar el rendimiento y reducir los costos de preparación del suelo en un 33%.

Considerando las condiciones de lluvia, la avena fue el mejor cultivo en cuanto a su respuesta biológica entre las diferentes opciones de producción. En el caso de la cebada, no se encontraron diferencias entre tratamientos de labranza y biofertilizantes evaluados. Este cultivo fue más sensible que la avena forrajera a la falta de agua, sin embargo su rendimiento fue superior al del maíz y sorgo x sudán.

En el frijol-maíz intercalado en surcos 2:2, solo se cosechó frijol. Se observó una tendencia favorable en LC y B+R con relación a R, sin embargo no se detectaron diferencias estadísticas. En el caso del rendimiento de frijol como monocultivo, sobresalió el tratamiento con LC sin biofertilizantes superando con un 18% a LC con biofertilizantes. Se observó un mejor desarrollo vegetativo de las plantas con biofertilizantes pero al final no se tuvo la humedad del suelo para soportar plantas mejor desarrolladas.

Cuadro 6. Rendimiento de avena, cebada, maíz-frijol y frijol con diferentes métodos de labranza bajo condiciones de temporal en Villa de Arriaga, S.L.P., durante el ciclo primavera-verano 2000.

Tratamientos	Rendimiento (ton/ha)				
	Avena	Cebada	Maíz-frijol	Frijol	
Labranza de conservación con biofertilizantes.	5.055	1.521	0	0.201	0.415
Labranza de conservación sin biofertilizantes.	4.292	1.726	0	0.186	0.510
Rastra con biofertilizantes.	5.646	2.313	0	0.152	0.220
Rastra sin biofertilizantes.	2.453	0.902	0	0.123	0.264
B+R con biofertilizantes.	6.793	0.417	0	0.203	0.218
B+R sin biofertilizantes.	1.308	0.846	0	0.211	0.296

En la localidad de Cerritos la siembra se realizó el 29 de junio de 2000; después de esta fecha, se registró un período de sequía durante más de 40 días, lo cual provocó que el cultivo de maíz no produjera grano,

por lo que solamente se cuantificó la producción de rastrojo. En el Cuadro 7 se presentan los rendimientos obtenidos en esta localidad.

El uso de biofertilizantes en sorgo X sudán, incrementó el rendimiento en 31%; En cuanto a los métodos de preparación del suelo, B+R superó con 13 y 19% a LC y R respectivamente. Es importante recalcar que la falta de lluvias durante los primeros 50 días del cultivo no son representativos del patrón de lluvias de esta localidad por lo que se requiere evaluar más ciclos estos métodos de labranza.

Cuadro 7. Rendimiento de maíz y sorgo para grano y maíz forrajero y sorgo x sudán con diferentes métodos de labranza en condiciones de temporal en Cerritos, S.L.P., en el ciclo primavera-verano 2000.

Tratamientos	ton/ha			
	Sorgo grano	Sorgo forrajero	Maíz forrajero	Sorgo x sudán
Labranza de conservación con biofertilizantes.	1.364	2.330	1.227	2.981
Labranza de conservación sin biofertilizantes.	1.451	2.852	1.028	2.425
Rastra con Biofertilizantes.	1.767	2.338	1.350	3.131
Rastra sin biofertilizantes.	1.484	2.816	0.787	1.896
B+R con biofertilizantes.	1.506	2.934	1.083	3.318
B+R sin biofertilizantes.	1.456	2.761	0.890	2.892

En maíz, la producción de forraje se incrementó en 35% con el uso de biofertilizantes. Para el caso de los métodos de labranza, el mejor rendimiento medio se registró con LC, el cual superó con 5 y 13% a R y B+R respectivamente. Es importante recalcar los bajos rendimientos del maíz forrajero a causa de la falta de lluvia durante el ciclo del cultivo. El sorgo es el principal cultivo en Cerritos dada su adaptabilidad a las condiciones de escasa y errática precipitación. Al comparar los rendimientos obtenidos en relación con los otros tres cultivos evaluados, el sorgo obtuvo la mejor respuesta en este sitio en los rendimientos de grano

y forraje obtenidos, pese a las condiciones adversas de sequía que afectaron por igual a todos los cultivos.

Relación beneficio / costo.

Cuando la producción de cultivos es difícil por la falta de lluvias, las opciones se deben enfocar a la reducción de riesgos en la inversión. Cuando el productor decide establecer módulos con cultivos forrajeros, la labranza de conservación representa una opción atractiva desde el punto de vista financiero, dado que reduce en promedio 26% los costos de producción con respecto al B+R. El análisis financiero obtenido en un módulo forrajero en Villa de Arriaga durante el ciclo PV 2000, se presenta en el Cuadro 8.

Cuadro 8. Relación beneficio costo (B/C) del módulo de labranza en condiciones de temporal en Villa de Arriaga, P-V 2000.

Tratamiento	Costos Totales (\$)	Ingresos brutos (\$)	B/C
Labranza de conservación con biofertilizantes	6,759	9,651	1.43
Labranza de conservación sin biofertilizantes	6,501	9,493	1.46
Rastra con biofertilizantes	6,805	9,819	1.44
Rastra sin biofertilizantes	6,412	5,290	0.82
B+R con biofertilizantes	9,180	9,315	1.01
B+R sin biofertilizantes	8,772	4,689	0.53

En Cerritos S. L. P., la relación B/C del módulo de labranza, reportó valores menores a la unidad debido a los bajos rendimientos de los cultivos por la sequía presentada en el ciclo agrícola PV-2000. En el Cuadro 9 se presentan los valores B/C para los tratamientos evaluados, así como los costos de producción e ingresos totales, en esa localidad, donde la relación B/C más alta se obtuvo con el tratamiento de rastra con

biofertilizantes, superando con 13 y 5 % a su similar con B+R y LC respectivamente.

Cuadro 9. Relación beneficio costo (B/C) del módulo de labranza en condiciones de temporal en Cerritos, P-V 2000.

Tratamiento	Costos totales (\$)	Ingresos brutos (\$)	B/C
Labranza de conservación con biofertilizantes.	10,379	7,460	0.72
Labranza de conservación sin biofertilizantes.	10,188	7,078	0.69
Rastra con Biofertilizantes.	10,393	7,834	0.75
Rastra sin biofertilizantes.	10,163	6,091	0.60
B+R con biofertilizantes.	12,382	8,149	0.66
B+R sin biofertilizantes.	12,198	7,212	0.59

Los valores más bajos en la relación B/C se obtuvieron con B+R sin biofertilizantes. Lo anterior manifiesta que en años desfavorables por escasa precipitación, la inversión mayor originada por el barbecho del suelo repercute en mayores costos de producción y menores ingresos brutos. Por el contrario con LC los costos totales se redujeron 20% en promedio con relación al B+R con biofertilizantes, expresando un considerable ahorro al no realizar el barbecho.

5. CONCLUSIONES

En el Altiplano Potosino, en la rotación maíz-avena forrajera en condiciones de riego la labranza de conservación en relación con el barbecho más rastra, mejoró la estructura del suelo, redujo la densidad aparente e incrementó la capacidad de infiltración, la humedad y el contenido de materia orgánica del suelo. Lo anterior se reflejó en un incremento en rendimiento de maíz y una reducción en los costos de producción. En esta rotación es posible obtener mayor cantidad de rastrojo y dejar una cobertura del 33%, sin reducir la cantidad que se cosecha de rastrojo con barbecho más rastra. En riego, los mejores métodos de

labranza desde un punto de vista financiero fueron labranza de conservación + 0% de cobertura, rastra y cinceles. Los de menor riesgo fueron rastra y cinceles.

En condiciones de temporal, la siembra directa sin movimiento del suelo, originó fuerte compactación del suelo y no presentó resultados favorables para las propiedades físicas del suelo ni para la producción de los cultivos. Lo anterior se debe a la costumbre de los productores de utilizar en su totalidad los residuos de cosecha para alimentar el ganado, lo cual impide el manejo de los residuos sobre la superficie del suelo. Por ello se adaptó un método de labranza reducida con el uso del multiarado, logrando resultados más favorables. No se observaron incrementos significativos en rendimientos, pero si un ahorro considerable en el tiempo y costos para la preparación del terreno.

6. LITERATURA CITADA

1. Abelson, P.H. 1995. Sustainable agriculture and the 1995 Farm Bill. *Science* 267:943.
2. Angeles, J. M. y Rendón, P. 1994. Riego eficiente y labranza de conservación en una rotación trigo-sorgo para Guanajuato. México. 15th World Congress of Soil Science. Vol 7b. Acapulco, Gro. p 127-128.
3. Benites, J.R. 1992. Clasificación de los sistemas de labranza. *In*: FAO. Manual de sistemas de labranza para América Latina. Boletín de suelos 66. FAO, Roma. Italia. p 7-8.
4. Black, A.L. 1973. Soil property changes associated with crop residue management in a wheat-fallow rotation. *Soil. Sci. Soc. Amer. Proc.* 37:943-946.
5. Erenstein, O. 1999. La conservación de los residuos en los sistemas de producción de maíz en Cd. Guzmán y San Gabriel, Jalisco. Documento del NRG 99-01. México, D. F. CYMMYT. 35 p.
6. F.A.O. 1992. Manual de sistemas de labranza para América Latina. Boletín de la FAO 66. Roma, Italia. 193p.

7. FAO-UNESCO-ISRIC (Food and Agriculture Organization-International Soil Resources and Information Center). 1988 FAO/UNESCO soil map of the world, revised legend. World Resources Report 60. Rome, Italy.
8. Faulkner, E. H. 1974. Plowman's Folly. Oklahoma University Press. USA. 138 P.
9. Figueroa, S.B. y F.J. Morales F. 1992. Manual de producción de cultivos con labranza de conservación. Colegio de Posgraduados. SARH. Montecillos, México. 273 p.
10. Hamblin, A. 1995. The concept of agricultural sustainability. *In*: Andrews, J.H. and I. Tommerup (ed). Advances in Plant Pathology. Vol. 11. Academic Press, New York. PP 1-19.
11. Hillel, D. 1980. Application of soil physics. Department of plant and soil science. University of Massachusetts. Amherst, Massachusetts. Academic Press.
12. Horton, R.E. 1933. The role of infiltration in the hydrologic cycle. *Amer. Geophys. Union. Trans.* 14:446-460.
13. Ismail, I., R.L. Blevins, and W.W. Frye. 1994. Long-term no-tillage effects on soil properties and continuous corn yields. *Soil. Sci. Soc. Amer. J.* 58:193-198.
14. Jasso, Ch. C. 1997. Efecto de la labranza en la estructura del suelo y su relación con el rendimiento de los cultivos. *In*: CENAPROS. Avances de investigación en labranza de conservación I. Michoacán, México. pp 215-224.
15. Jiménez, D. R. M. y J. Lamo E. 1998. Agricultura sostenible. Mundi-Prensa, España. 616 p.
16. Magdoff, F. 1992. Building soils for better crops. Organic Matter Management. University of Nebraska Press. 234 p.
17. Martínez, G. M.A. 1988. Respuesta del frijol de temporal al pileteo en Aguascalientes. *In*: Memorias del XXI congreso nacional de la ciencia del suelo. Chihuahua, México. p 57.
18. Martínez, G. M.A. 2000. "Sistema de producción con un enfoque sostenible para el Altiplano Potosino, México". *In*: Quintero, L. R., T. Reyna T., L. Corlay Ch., A. Ibáñez H. y N.E. García C. La Edafología y sus perspectivas al Siglo XXI. Tomo I. Colegio de Postgraduados, UNAM, UACH. México. PP 155-160.
19. Narro, E. 1994. Composición del suelo. *In*: Física de suelos con enfoque agrícola. Ed. Trillas. México, D.F. pp. 26-27.
20. Navarro, B. A., B. Figueroa S., V. M. Ordaz Ch. y F. V. González C. 2000. Efecto de la labranza sobre la estructura del suelo, la germinación y el desarrollo del maíz y frijol. *TERRA* 18(1):61-70.

21. Pérez, J.P. y J. Velázquez. 1997. Interacción labranza - fertilización - residuos en maíz de temporal en la Región Centro de México. *In: Avances de Investigación en Labranza de Conservación I*. Centro Nacional de Investigación para Producción sostenible. INIFAP. Libro técnico No.1. pp. 123-135.
22. Post, W. M., T.H. Peng, W. R. Emamuel, A. W. King, V.H. Dale, and D.L. DeAngelis. 1990. The global carbon cycle. *Am. Scientist*. 78:310-326.
23. Reicosky, D. C. and M. J. Lindstrom. 1993. Fall tillage method: Effect on short-term carbon dioxide flux from soil. *Agron. J.* 85:1237-1243.
24. Romig, D. E., M. J. Garlynd, R. F. Harris, and K. McSweeney. 1995. How farmers assess soil health and quality. *J. Soil and Water Conservation*. 50(3):229-236.
25. Schuab, G. O., R. K. Frevert, T. W. Edminster, y K. K. Barnes. 1981. Soil and water conservation engineering. 3rd ed. John Wiley & Sons. New York, USA.
26. Tovar, S. J. L. 1981. Densidad aparente. *In: Figueroa, S. B. y A. Núñez B. (ed) Determinación de las principales propiedades físicas de los suelos agrícolas*. SMCS. Delegación San Luis Potosí. p 47-62.
27. Tiscareno, L. M and A. D. Baez G. 2000. Climate phenomena and soil degradation. *In: Quintero, L. R., T. Reyna T., L. Corlay Ch., A. Ibáñez H. y N.E. García C. La Edafología y sus perspectivas al Siglo XXI. Tomo I. Colegio de Postgraduados, UNAM, UACH. México.*
28. Unger, P.W. 1988. Sistemas de labranza para la conservación del suelo y del agua. *Boletín de suelos de la FAO* 54. Roma, Italia.
29. Velásquez, V. M.A., M. Tiscareño, L., R. Claverán, A. y M. Gallardo V. 1997. Erosión y productividad bajo labranza de conservación. *Avances de investigación en suelo de Ando en Michoacán. Folleto Técnico No. 1. Morelia, Mich., México.* 34p.
30. Wilson, E. T. 1978. Pioneer agricultural explosion in CO₂ levels in the atmosphere. *Nature*. 273:40-41.

PRACTICAS AGRONOMICAS Y VEGETATIVAS

Catarina Loredo Osti¹ y Sergio Beltrán López¹

1. INTRODUCCION

En el estado de San Luis Potosí, las zonas áridas y semiáridas abarcan una superficie de 4'816,000 hectáreas (76.63% de la superficie total). En estas zonas, la precipitación es escasa e irregular y es normal que se tengan más de 6 meses secos. Cuando no se cuenta con riego, estas áreas presentan un potencial de producción bajo y sus recursos vegetales son aprovechados principalmente a través del pastoreo; actualmente la ganadería extensiva representa el principal uso del suelo, sin embargo, la sobreutilización de la cubierta vegetal por el ganado es generalizada.

La recolección de productos de especies no maderables (como el nopal, la palma, el maguey y la lechuguilla) o el uso de plantas maderables de uso múltiple como el mezquite, también son actividades propias de las zonas áridas y semiáridas, donde la extracción de productos forestales se realiza en forma desordenada y no existen registros confiables sobre su aprovechamiento. Lo anterior ha originado reducción y pérdida de la vegetación deseable, incremento en la vegetación no aprovechable, reducción de la capacidad de infiltración y en la capacidad de almacenamiento de agua en el suelo, degradación de la cubierta vegetal, compactación y erosión del suelo.

Un estudio realizado por el INIFAP en San Luis Potosí, donde se estimó el riesgo potencial a la erosión en 235 mil ha, indica que el 46% de la superficie se encuentra afectada por erosión potencial leve (de 0 a 10

¹ Investigador Titular C; Campo Experimental San Luis, CIRNE, INIFAP.
loredo.catarina@inifap.gob.mx; beltrán.sergio@inifap.gob.mx

ton/ha/año de pérdida de suelo), el 25% presenta erosión moderada (de 10 a 50 ton/ha/año), el 20% tiene un riesgo de erosión potencial alto (de 50 a 200 ton/ha/año) y una erosión potencial mayor a las 200 ton/ha/año se presenta en el 8% de la superficie estudiada (Loredo *et al.*, 2005)

En las áreas agrícolas, los terrenos se siguen laboreando con prácticas tradicionales como el barbecho y rastro, sin hacer uso de prácticas más económicas como el multiarado; además los productores tienen la costumbre de introducir a los animales en los terrenos de cultivo, una vez que se han levantado las cosechas (Figura 1), lo cual incrementa la compactación del suelo y deja la superficie del terreno desprovista de vegetación y a expensas de los agentes erosivos.



Figura 1. Terreno “agrícola” en el municipio de Villa de Arriaga, S.L.P., donde el ganado es introducido después de levantar la cosecha, para consumir la vegetación escasa que queda; esta práctica incrementa el riesgo de erosión del suelo.

Sin embargo, también existen zonas donde el conocimiento y la experiencia tradicional han propiciado una agricultura basada en el manejo de los escurrimientos superficiales. Este manejo consiste en la utilización del agua que escurre en corrientes intermitentes durante la época de lluvias, la cual es dirigida hacia parcelas limitadas por “bordos parcelarios”, generalmente localizadas en la parte baja de las microcuencas. A estos terrenos les llaman “enlamados”.

Actualmente se considera a la cobertura vegetal como la mejor herramienta para controlar la erosión, ya que brinda protección al suelo contra los agentes erosivos. Sin embargo el manejo de la cobertura vegetal, requiere de la integración de diversas prácticas, entre las cuales destacan la agricultura de conservación, la introducción de cultivos alternativos, la reconversión de áreas agrícolas de baja productividad a uso pecuario, el manejo y rehabilitación de pastizales y el establecimiento y manejo de sistemas agroforestales.

En este capítulo se presenta una síntesis de la importancia de la cubierta vegetal en el control de la erosión, así como tecnologías y prácticas de manejo adecuadas para las zonas áridas y semiáridas de San Luis Potosí. Los temas sobre agricultura de conservación y manejo de pastizales, aún cuando involucran manipulación de la vegetación, no serán tratados en este capítulo, debido a que son temas desarrollados en otros capítulos de este libro.

2. PRACTICAS AGRONOMICAS

Muchos de los problemas de erosión y degradación del suelo en las tierras agrícolas, son atribuidos a prácticas agronómicas deficientes, especialmente en la preparación del terreno al momento de la siembra. Las

prácticas agronómicas, comúnmente conocidas como labranza, se refieren a las distintas manipulaciones mecánicas de los suelos con el fin de mantenerlos en condiciones óptimas para el desarrollo de los cultivos. Sin embargo, el efecto benéfico o perjudicial de la labranza depende del tipo de implementos y de la intensidad y forma en que éstos sean usados. En muchas ocasiones el efecto benéfico de los implementos se nulifica por su uso intenso o por una época inadecuada para su utilización.

Becerra (1990), indica que el exceso de labranza y el realizar el laboreo con humedad inadecuada ocasionan la rotura de los agregados, favoreciendo la formación de costras. A su vez, la utilización de equipos inadecuados y pesados y el paso de la maquinaria sobre el suelo cuando éste presenta consistencia plástica, lleva al surgimiento de capas compactadas subsuperficiales, normalmente situadas entre 10 y 30 cm de profundidad y con un espesor de 10 a 15 cm. Esas capas ofrecen fuerte resistencia a la penetración de las raíces de las plantas y restringen la capacidad de infiltración de agua y la aireación del suelo

Las labores que acostumbran los productores (labranza tradicional) son: barbecho, rastreo y rasamiento o nivelación primaria. Tomando en cuenta que la agricultura del Altiplano Potosino es de temporal principalmente, la inversión que se realiza en la preparación de suelos es alta en relación con los beneficios esperados. De acuerdo a lo anterior, la producción continua de cosechas requiere de prácticas que aseguren una forma más eficiente de utilizar el suelo y aprovechar el agua a un costo bajo. A continuación se describen las prácticas agronómicas realizadas en forma tradicional:

Barbecho. Consiste en voltear el suelo superficial considerado como la capa arable, después de la cosecha anterior a una profundidad mínima de 20 cm ya sea con tractor o yunta. Los beneficios que se reportan en la

literatura son los siguientes: permite aumentar la rugosidad del terreno de tal forma que al suceder un evento pluvial, el suelo tiene mayor capacidad de infiltración y almacenamiento de agua, reduciendo el escurrimiento superficial y por tanto la erosión ocasionada por la lluvia. Para esta labor, se utiliza un arado de dos, tres o cuatro discos de 16 a 22 pulgadas de diámetro jalado por un tractor de 70 a 150 HP. Esta labor se puede realizar también con el arado de vertedera.

Rastreo. Práctica complementaria al barbecho, que se realiza con una rastra de discos. Se realiza para “desmenuzar” los terrones grandes que deja el barbecho y tener una cama “más mullida” para la germinación de la semilla.

Rasamiento. También conocido como empareje agrícola, consiste en el trabajo necesario para suavizar la pendiente y uniformizar el relieve del terreno, después del barbecho y rastra, cuando se ha establecido el temporal. Con esta práctica se busca tener mayor eficiencia en las labores de surcado, siembra, labores de cultivo y aplicación más uniforme de los fertilizantes. Para realizarlo, se puede utilizar desde un riel, un tablón o un cuadro de metal o madera, hasta cualquier tipo de escrepa. El implemento puede ser jalado por una yunta o un tractor agrícola de 70 a 150 H.P.

Fertilización. La producción continua de cosechas ocasiona en los suelos un empobrecimiento en nutrientes. Es conveniente que a los suelos que presenten deficiencias nutrimentales en los cultivos, especialmente de nitrógeno y fósforo, se les adicione fertilizante orgánico o químico de acuerdo a las necesidades del cultivo a establecer y a las deficiencias encontradas en un muestreo previo de suelos. La fertilización en condiciones de temporal, es una práctica que ha tenido poca aceptación entre los productores por el incremento en los costos de producción de los cultivos, sin embargo es necesario llevarla a cabo para evitar el

empobrecimiento del suelo, siendo necesario consultar las recomendaciones que vienen en los paquetes tecnológicos del INIFAP, para los diferentes cultivos.

2.1. La prevención de la erosión con prácticas agronómicas

Las prácticas agronómicas para el control de la erosión, se refieren a las actividades de manejo del terreno, tales como el subsoleo o cinceleo, labranza de conservación, incorporación de materia orgánica y aplicación de mejoradores, que tiendan a reducir la densidad aparente del suelo, a incrementar su capacidad de infiltración, disminuir el escurrimiento y conservar la humedad. A continuación se mencionan algunas de ellas.

Subsoleo o cinceleo. Esta práctica consiste en fracturar el suelo en su perfil para romper el “piso de arado” con el objeto de incrementar la capacidad de infiltración, promover la penetración de raíces y reducir el escurrimiento superficial. Permite aumentar temporalmente la porosidad del suelo si se realiza a capacidad de campo. Debe efectuarse después de comprobar que la profundidad del suelo es la conveniente, teniendo cuidado de no mezclar capas fértiles con infértiles, en el caso de suelos poco profundos. La separación entre los cinceles dependerá de las condiciones del terreno y del tipo de resultados que se requieran, pero deberán penetrar a una profundidad mínima de 45 centímetros. Como la formación del piso de arado en los terrenos agrícolas es muy común, se recomienda realizar el subsoleo con una periodicidad promedio de 4 años. No debe realizarse en suelos de poca profundidad.

Labranza de conservación. Sistema de laboreo y siembra que mantiene al menos 30% de la superficie del suelo cubierta con residuos después de la siembra. El suelo se prepara al mínimo, solamente para enterrar la

semilla y los residuos vegetales se mantienen sobre la superficie para proteger al suelo.

Labranza cero. No se disturba el suelo antes de la siembra. Esta se realiza en forma directa y solo se prepara una franja no mayor de 7 cm de ancho. El control de la maleza se realiza con herbicidas.

Labranza en camellones. La siembra se realiza sobre camellones o surcos de 10 a 15 cm de altura, en la parte media del surco. El control de malezas se realiza combinando herbicidas y escardas.

Labranza en franjas. Se labora solamente un tercio de la superficie al momento de la siembra, lo cual puede realizarse con arado rotatorio, o con un cincel en la línea de la siembra o una escardilla. El control de malezas se realiza combinando herbicidas y escardas.

Labranza en coberteras. Se labora la superficie del suelo antes de la siembra, con cinceles de puntas en “v” del tipo pata de ganso. Se dejan los residuos de cosecha sobre la superficie del terreno. El control de la maleza se realiza con una combinación de herbicidas y escardas.

2.2. Opciones para el Altiplano Potosino

La labranza en coberteras con el multiarado, ha resultado una buena opción para productores del Altiplano Potosino (Martínez, 2003), con la ventaja que en este sistema se conservan y favorecen las condiciones físicas, químicas y biológicas del suelo. Además se disminuye el número de pasos de maquinaria agrícola y se ahorran tiempo y costos. Se evitan pérdidas de humedad.

En las tierras donde se cultivan básicos como maíz, frijol y cebada, se puede usar el multiarado para roturar el terreno sobre el rastrojo o paja del cultivo; contrariamente a lo que sucede con las labores ordinarias de

arado, esto permite que la mayor parte de los residuos vegetales queden sobre el terreno constituyendo una cubierta protectora eficiente. Este método es muy adaptable a suelos de textura franco-arenosa, debido a que permite la siembra directa sin preparación previa. En suelos de textura más pesada como los limo-arcillosos, se puede aflojar e incorporar previo al multiarado, parte de los residuos de cosecha por medio del arado de vertedera.

Desventajas: Este sistema se contrapone a la costumbre de los productores de introducir a las tierras de cultivo al ganado para que consuman directamente los residuos de cosecha. Los rendimientos pueden ser ligeramente menores, pero esto se compensará por la economía obtenida en la preparación del terreno.

En relación a las prácticas agronómicas, la atención para el control de la erosión se centra en lo que recientemente se ha denominado "*Agricultura de Conservación*". Esta consiste en diversas prácticas agronómicas que permiten un manejo del suelo alterando lo menos posible su composición, estructura y propiedades biológicas, con lo cual se evita también su erosión y degradación.

Esta nueva agricultura incluye diversas modalidades tales como la siembra directa (no laboreo), el mínimo laboreo (reducido, en donde no se incorporan o sólo en muy breves periodos, los residuos de cosecha), y el establecimiento de cubiertas vegetales entre cultivos anuales sucesivos o entre hileras de árboles en plantaciones de cultivos leñosos. Con estas técnicas se aumentan la formación natural de los agregados del suelo, la materia orgánica y la fertilidad, y a su vez se disminuye la compactación del suelo, con una reducción también en el consumo de energía y el trabajo que conllevan las operaciones propias del laboreo (Schamab *et al.*, 1990).

3. PRACTICAS VEGETATIVAS

Las prácticas vegetativas consideran el desarrollo de plantas o cultivos, o el manejo de la vegetación natural, con la finalidad de mejorar la capacidad productiva de los terrenos y ayudar a disminuir la erosión del suelo. Las más conocidas son las siguientes:

Rotación de cultivos. Se refiere al crecimiento de dos o más cultivos en el mismo terreno, estableciendo uno después de cosechar el otro. Generalmente se recomienda sembrar una leguminosa después de una gramínea o bien un cultivo tupido (avena, cebada o trigo) después de uno de surco.

Cultivo en fajas. Implica el establecimiento de dos o más cultivos en el mismo periodo o ciclo de cultivo. Un ejemplo sería 10 surcos de maíz, diez de frijol y 10 de avena.

Cultivos asociados ó policultivos o. Implican el crecimiento de dos o más cultivos en el mismo terreno y al mismo tiempo. En México la asociación maíz-frijol ha sido utilizada desde épocas prehispánicas.

Cultivos de cobertera. Es el establecimiento de cultivos después de la cosecha del cultivo de interés económico, con el fin único de mantener cubierto el suelo y reducir las pérdidas por erosión. Generalmente se trata de un cultivo tupido en el cual es recomendable la presencia de una leguminosa de ciclo corto.

Abonos verdes. Implica que el cultivo de cobertera se incorpore al suelo para incrementar su fertilidad. La incorporación se debe realizar con suficiente tiempo antes de la siguiente siembra, para promover la descomposición de las plantas.

Sistemas agroforestales. Sistemas de producción que involucran en el mismo terreno, árboles y arbustos, cultivos anuales y/o ganado.

3.1. Mecanismos de la cobertura vegetal para el control de la erosión

La cobertura del suelo es el factor más importante en el control de la erosión hídrica; incluye a la vegetación (natural o cultivada) y los residuos de cosecha. Tiene efectos benéficos en la reducción de las pérdidas de suelo ya que le brinda protección contra la acción de los agentes erosivos. En base al grado de protección durante el año, las coberturas vegetales pueden ser temporales o permanentes.

Una cubierta vegetal suficiente reduce la erosión a límites aceptables. La eficiencia de la vegetación para reducir la erosión depende de la altura y continuidad de la cubierta vegetal aérea, de la densidad de la cobertura en el suelo y de la densidad de raíces (Figueroa *et al.*, 1991). La cobertura de plantas juega un papel importante en la reducción de la erosión, siempre y cuando cubra una proporción alta de la superficie del suelo. Los bosques son los más efectivos en el control de la erosión, aunque un pastizal en buenas condiciones puede tener la misma eficiencia si la cobertura vegetal en la superficie del suelo (cobertura basal) es mayor al 70% (Loredo, 1994).

En las zonas áridas y semiáridas de México, el pastoreo extensivo con ganado, representa el principal uso del suelo y son los agostaderos el ecosistema más deteriorado, ocupando el primer lugar en superficie afectada por erosión, ya que el sobrepastoreo ha dañado a más de 60 millones de hectáreas. En segundo lugar de daño se ubican las áreas forestales y en tercer lugar la agricultura de temporal, en la cual se han identificado 21 millones de hectáreas con problemas de erosión hídrica y

eólica (Ortiz *et al.*, 1994). Sin embargo los estudios sobre el control de la erosión en este tipo de tierras son escasos.

Beltrán (1988) al analizar la producción de sedimentos en tres tipos de vegetación de las zonas áridas, encontró que las tasas mayores de erosión se presentaron en el matorral micrófilo y en el pastizal amacollado, comparadas con las obtenidas en un pastizal mediano abierto. Las variables que tuvieron mayor influencia en la producción de sedimentos fueron la cobertura basal de zacates, la fitomasa aérea y la fitomasa del mantillo, observando una correlación negativa, es decir que conforme se incrementan, se reduce la producción de sedimentos. El observó que la producción de sedimentos se incrementa conforme aumenta la superficie del terreno sin vegetación, así como el grado de pendiente.

En otro estudio realizado por Zárate (1988) se observó que tres diferentes unidades de suelo, cubiertas por el mismo tipo de vegetación (pastizal mediano abierto) presentaron producción de sedimentos estadísticamente similares; esto significa que aun cuando las propiedades del suelo son importantes para el control satisfactorio de la erosión, la cubierta vegetal tiene un efecto mayor.

El INIFAP ha realizado investigaciones en el Altiplano que indican que las resiembras con pasto buffel son eficientes para el control de la erosión hídrica. En uno de estas, se probaron tres tratamientos: cobertura aérea de pastos mayor de 80% (cobertura alta), cobertura media (40-60%) y un sitio sin cobertura vegetal (Loredo, 2000).

La producción total de sedimentos presentó diferencias estadísticas entre tratamientos con 8.61, 91.92 y 166.18 kg ha⁻¹, para los tratamientos de cobertura alta, cobertura media y suelo sin cobertura vegetal, respectivamente. En la figura 2 se presenta el comportamiento de la

producción acumulada de sedimentos por tratamiento, durante el transcurso de la prueba.

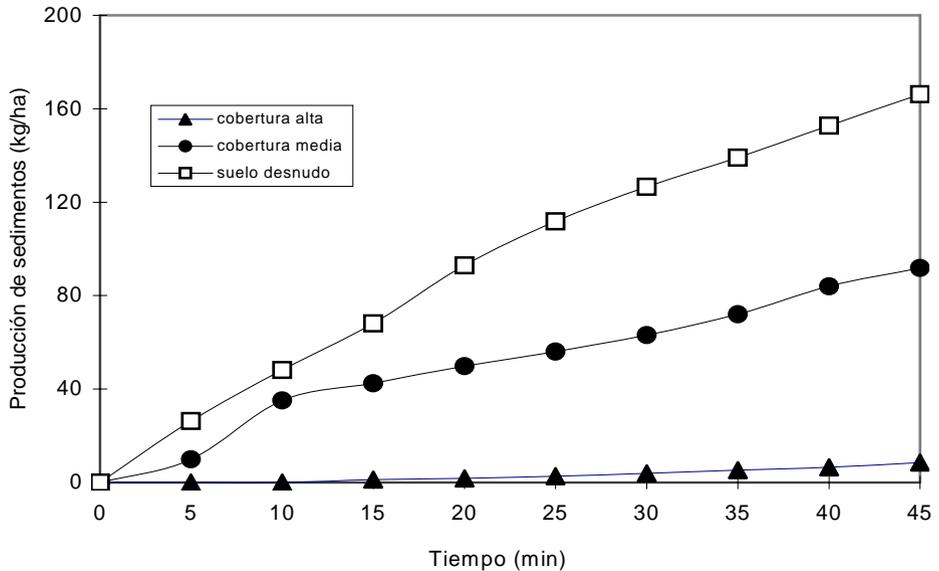


Figura 2. Producción acumulada de sedimentos con lluvia simulada (126 mm hr^{-1}) sobre una pradera de pasto buffel en el Altiplano Potosino (Fuente: Loredó *et al.*, 2000).

Las variables del suelo y vegetación más relacionadas con la producción total de sedimentos fueron la cobertura basal de zacates ($r = -0.8406$), contenido de mantillo orgánico ($r = -0.8028$), infiltración del suelo ($r = -0.7807$) y la biomasa total ($r = -0.7816$). El suelo desnudo presentó una correlación positiva ($r = 0.8104$). La cobertura basal del pasto, explicó el 71% de la variación que se presentó en la erosión total, lo

cual indica la importancia de la protección que brinda la cobertura en la superficie del suelo contra la energía cinética de las gotas de lluvia y la obstrucción al escurrimiento superficial. En la figura 3 es posible observar que cuando la cobertura basal de zacates fue mayor al 70% no hubo producción de sedimentos.

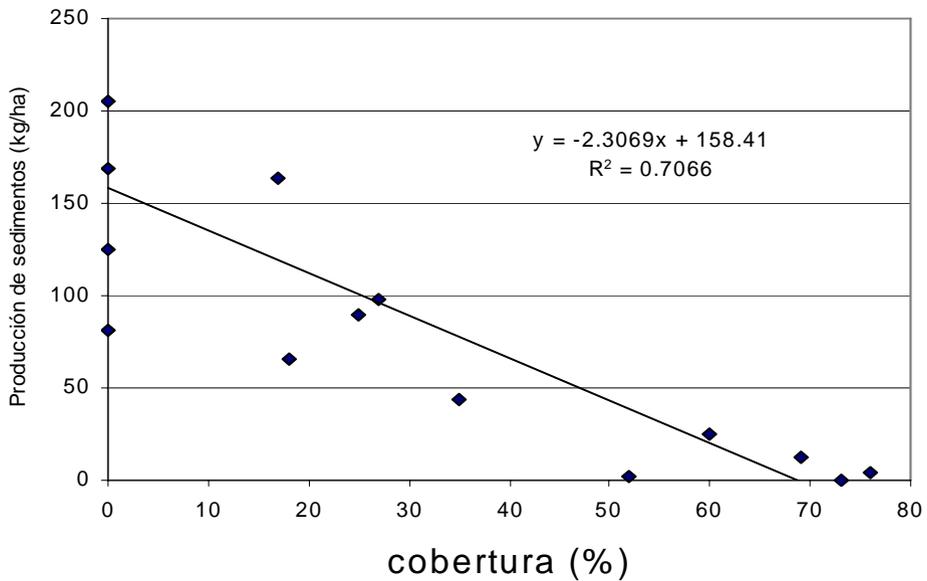


Figura 3. Relación entre la producción de sedimentos y la cobertura basal de pasto buffel con lluvia simulada (126 mm hr^{-1} por 45 minutos) en el Altiplano Potosino (Fuente: Loredó *et al.*, 2000).

Una relación similar fue la que presentó el contenido de mantillo orgánico en el suelo, lo cual indica que además de la cobertura, la cantidad y tipo de biomasa que protege al suelo es importante. En ese sentido, Martín e Ibarra (1995), señalan que el pasto Buffel produce cantidades altas de mantillo orgánico, el cual puede acumularse en la pradera principalmente en primavera o verano. Su presencia es más evidente después de lluvias torrenciales, que lo desprenden de la planta. El agua lo arrastra, se detiene y amontona en la base de las mismas.

La cobertura vegetal incluyendo los residuos sobre la superficie, reduce la erosión en tres formas principalmente: 1) a través del efecto de protección al suelo contra el impacto directo de las gotas de lluvia, las cuales producen el salpicado 2) reducción en la velocidad del escurrimiento por el incremento en la rugosidad superficial; y 3) por los efectos que ejerce la cobertura sobre la estructura y porosidad del suelo en la superficie y en el perfil del suelo (Wischmeier y Smith, 1965; Figueroa, 1975; Ríos, 1987).

Protección del suelo

La protección al suelo inicia desde la interceptación de la lluvia por la vegetación. Esta interceptación reduce de dos formas la erosión del suelo: primero, parte del agua interceptada no llega al suelo, sino que es evaporada directamente en las hojas y los tallos, por lo cual esta agua no puede contribuir al escurrimiento y no es un factor de erosión. El otro modo se refiere a un efecto amortiguador; la cubierta vegetal absorbe el impacto de las gotas de lluvia y aminora los efectos destructivos de la lluvia sobre la estructura del suelo. Sin embargo, la cubierta vegetal tiene una capacidad límite de interceptación, que puede variar en función de las características de la especie, de la cantidad e intensidad de la lluvia al

momento del evento, así como de la densidad de plantas por hectárea y de la vegetación asociada a la especie principal (Figuroa et al., 1991).

Incremento en la rugosidad del suelo

La cubierta vegetal, además de reducir la energía de la lluvia, incrementa la rugosidad superficial lo cual retarda el escurrimiento. La cobertura vegetal reduce la cantidad de suelo sellado por partículas finas e incrementa la rugosidad hidráulica, lo cual ocasiona que el agua sea mantenida en la superficie del suelo por más tiempo (Figuroa, 1991). Los residuos de cosecha dejados o colocados sobre la superficie del suelo, en sentido transversal al declive del terreno, promueven la formación de una escalera en miniatura, representada por la acumulación de suelo delante de pedazos de paja (Meyer *et al.*, 1970).

El volumen de escurrimiento superficial es afectado por la calidad y cantidad de residuos a través del retardo en el inicio del escurrimiento, el aumento del tiempo entre el inicio y el primer litro de agua escurrida; así como la disminución del tiempo entre el final de la lluvia y el final del escurrimiento (Singer y Blackard, 1978). Una cobertura de 2/3 ó 3/4 de la superficie del suelo es suficiente para protegerlo del impacto de la lluvia y, prácticamente, eliminar el transporte de suelo por salpicadura. En el caso de tierras agrícolas, esta cobertura corresponde aproximadamente a cinco toneladas de paja por hectárea (Kohnke y Bertrand, 1959).

Sin embargo, el efecto de los residuos de cosecha sobre el control de la erosión varía de acuerdo a la cantidad, distribución y durabilidad de los mismos, y, el grado, eficiencia y rapidez de la protección al suelo, dependen del manejo que se de a dichos residuos (Mannering y Meyer, 1963).

Efectos sobre la estructura y porosidad en el perfil del suelo

Los efectos de la vegetación sobre la estructura del suelo se aprecian en el efecto sujetador del sistema radical sobre las partículas en el perfil del suelo, lo cual es favorecido con la descomposición de las raíces, incrementando el contenido de materia orgánica y dejando cavidades tubulares que mejoran el movimiento del aire y agua en el suelo. Los incrementos en el contenido de materia orgánica afectan la estabilidad de agregados en el suelo, la conductividad hidráulica y otras propiedades físicas del suelo que influyen en la capacidad de infiltración, lo cual disminuye el volumen del escurrimiento.

La combinación de una adecuada porosidad y rugosidad superficial, influyen en el movimiento libre del agua hacia dentro del perfil del suelo y la infiltración puede ser incrementada con prácticas culturales que promuevan la formación de pequeñas depresiones y rugosidad en la superficie. Cuando la cubierta vegetal sobre la superficie del suelo es pobre o insuficiente, se exponen los agregados de la superficie del suelo a la acción de la fuerza erosiva de la lluvia, la cual los destruye formándose costras con espesor medio de un milímetro que reducen drásticamente la infiltración de agua.

La vegetación también incrementa el contenido de materia orgánica en el suelo, lo cual afecta favorablemente la estabilidad de la estructura, esto es la capacidad que tienen los agregados de conservar su forma cuando se humedecen o son sometidos a una acción física. La estabilidad se incrementa con el contenido de materia orgánica en el suelo (Loredo, 1986). El tamaño y la estabilidad de los agregados pueden ser indicadores de la erosionabilidad del suelo. Los suelos bien agregados proporcionan mayor retención de agua, adecuada aireación, fácil penetración de raíces y buena permeabilidad.

El tamaño ideal de agregados está entre 0,50 y 2,00 mm de diámetro; agregados mayores restringen el volumen de suelo explorado por las raíces y agregados menores, originan poros muy pequeños, que no permiten la infiltración del agua por acción de la gravedad (Kohnke, 1968).

3.2. Manejo de vegetación en el Altiplano Potosino

Si bien, los beneficios de la cubierta vegetal son altos, en las zonas áridas y semiáridas existe una estación de crecimiento corta para el adecuado desarrollo de las plantas. De ahí que las tecnologías para promover el crecimiento vegetal deben ser muy específicas. En San Luis Potosí, el INIFAP ha desarrollado técnicas para el manejo de los recursos de las zonas áridas y semiáridas que implican el manejo de coberturas vegetales.

Estas técnicas pueden incidir en programas de manejo de microcuencas y se agrupan en los siguientes grupos: *Rehabilitación y Mejoramiento de Pastizales* (Beltrán y Loredó, 1999), *Aprovechamiento de Especies Forestales de Zonas Áridas y Semiáridas*, (Arredondo, 1998), *Sistemas Agrosilvopastoriles* (Hernández et al., 1999), *Reconversión de Áreas Agrícolas de Baja Productividad a Uso Pecuario* (Loredó et al., 1998) y *Labranza de conservación* (Martínez, 2003). Estas pueden centrarse en cuatro grandes grupos: Sistemas agroforestales, reconversión de tierras marginales, manejo de pastizales y labranza de conservación.

4. SISTEMAS AGROFORESTALES

A nivel nacional existen 22 millones de hectáreas de pastizales nativos, 70 millones de hectáreas de matorrales, 8 millones de praderas cultivadas con pastos introducidos y 28 millones con pastizales inducidos (COTECOCA, 1987). Como puede apreciarse la mayor superficie está

ocupada por matorral, donde las gramíneas no constituyen la mayor parte del forraje disponible para el ganado, ya que los animales, además de consumir pastos, consumen también follaje de plantas leñosas de tipo arbustivo o arbóreo.

Los agostaderos son aquellas tierras con vegetación leñosa y herbácea, susceptible de aprovechamiento por herbívoros, donde se requieren más de cinco hectáreas por unidad animal (García, 1993) y generalmente se localizan en zonas áridas y semiáridas. La alimentación del ganado está integrada por pastos, arbustos y árboles principalmente. Los árboles y arbustos además de constituir una fuente de forraje, tienen otros usos diversos, como leña, obtención de vaina, goma, productos industriales y en algunos casos productos medicinales.

Este tipo de aprovechamiento se realiza en el 75% del territorio de San Luis Potosí, siendo la actividad primaria más importante por el uso del suelo o superficie que ocupa. Uno de los principales problemas que enfrenta es la carencia de bases técnicas que le permitan ser un sistema productivo y sustentable.

La agroforestería consiste en todas las prácticas de uso de suelo que involucren asociaciones ecológicas y económicas de árboles y arbustos con la producción de algún cultivo y/o la producción ganadera. De acuerdo a Ffolliot (1994), la naturaleza combinada de estos sistemas de producción, tiene como meta fundamental proporcionar estabilidad ecológica y beneficios sostenidos a los productores usuarios de la tierra. Por lo anterior, los componentes que se manejan en agroforestería generalmente son tres: la cubierta herbácea (cosechas agrícolas o hierbas y gramíneas para pastoreo), cubierta forestal (árboles y arbustos) y animales (ganadería). La naturaleza de estos tres componentes, así como

su distribución en espacio y tiempo define a los diversos sistemas agroforestales.

Así por ejemplo, una siembra de un cultivo anual como maíz o frijol, entre las franjas de una plantación forestal maderable, corresponde a un sistema agrosilvícola. Si además una parte del terreno se destina para producir forraje de corte o para el pastoreo del ganado, el sistema agroforestal puede definirse como un sistema agrosilvopastoril. La combinación de actividades ganaderas y forestales en el mismo pedazo de tierra sin la producción de cultivos anuales, define a un sistema silvopastoril (Ffolliot; 1994).

El mismo autor señala que las regiones áridas y semiáridas generalmente son áreas para la producción de ganado mediante el pastoreo extensivo de los agostaderos, donde el recurso vegetal de estas extensas áreas, se caracteriza por tener un potencial de producción bajo. En este tipo de agroforestería la principal fuente de forraje está formada por pastos, arbustos y árboles.

El INIFAP ha generado tecnología para el manejo integral de bosque de mezquite de la llanura de Rioverde, con estrategia silvopastoril, donde los productos a obtener son vaina de mezquite, forraje de pastos y arbustos, así como miel de abeja.

5. RECONVERSIÓN DE ÁREAS AGRÍCOLAS DE BAJA PRODUCTIVIDAD

En las zonas áridas y semiáridas donde se practica agricultura de temporal, se enfrentan condiciones de riesgo climático por humedad deficiente y heladas tempranas, restricciones de capital y uso mínimo de insumos, lo cual limita severamente el cultivo de granos. Los productores combinan actividades agrícolas y ganaderas complementadas con la

extracción y recolección de productos de especies forestales no maderables; los residuos de cosecha se aprovechan en la alimentación del ganado y el sobrepastoreo es una práctica común, lo cual favorece la degradación de la cubierta vegetal y la erosión del suelo.

Los productores aprovechan los residuos del cultivo como "forrajes toscos" conocidos como rastrojo en el caso del maíz, tazol en frijol y paja en cebada y trigo. El forraje tosco es de baja calidad y se proporciona al ganado en forma rudimentaria en la "época de secas" en condiciones de semiestabulado. También los residuos que quedan en el terreno del cultivo son aprovechados con pastoreo directo, de esta forma se presenta la integración de la agricultura tradicional con la ganadería extensiva que se desarrolla en los agostaderos (Loredo *et al.*, 1996).

La generación de tecnología en esas condiciones requiere un enfoque integrador de las relaciones clima-suelo-planta-animal. Diversas investigaciones realizadas por el INIFAP en San Luis Potosí, indican que el manejo de cultivos forrajeros anuales y perennes integrados en módulos, representa una opción viable, acorde a la capacidad de uso del suelo y a los sistemas de producción de las áreas marginales limitadas por escasa precipitación, que reduce riesgos por heladas y sequía, eleva la productividad y permite realizar actividades agropecuarias rentables.

A continuación se muestran las ventajas, limitaciones y recomendaciones técnicas para el establecimiento y manejo de módulos forrajeros en áreas agrícolas de temporal deficiente, con las siguientes consideraciones previas:

- Un ambiente marginal para la producción de cultivos es aquel cuyas condiciones de clima o suelo, limitan el rendimiento a menos del 40% de su potencial y donde el costo para mejorar esas condiciones supera la

capacidad de pago del productor (Morris, *et al.*, 1991). Según registros de la SAGARPA, en el Altiplano y Zona Media de San Luis Potosí, se siniestra anualmente por sequía el 60% de la superficie de temporal sembrada con maíz y el 50% de la de frijol.

- De 1993 a 1997 el INIFAP generó tecnología para el manejo de módulos forrajeros de siete hectáreas donde se integraron forrajes anuales y perennes. El módulo de investigación se localizó en La Lugarda, Mpio. de Villa de Arriaga, S.L.P. En ese municipio se cultivan anualmente 26 mil hectáreas de temporal (SARH-CP, 1992) y los sistemas de producción tienen el carácter de agricultura campesina extensiva baja, con productividad baja (González, 1990).
- En 1996 y 1997 se establecieron tres módulos de validación, ubicados en Zapotillo, Mpio. de Villa Hidalgo, Laborcilla, Mpio. de Charcas y El Saucillo, Mpio. de Villa de Reyes, S.L.P.
- Se optó por trabajar módulos de siete hectáreas, considerando que esta superficie corresponde al promedio de dotación ejidal que maneja un productor en condiciones de temporal en el Altiplano Potosino. Sin embargo, las recomendaciones son válidas para cualquier superficie mayor a cuatro hectáreas.
- Un módulo forrajero es una superficie de cultivo dedicada en forma exclusiva a la producción de forrajes, donde se establecen y manejan varios cultivos (anuales y perennes) con potencial para la zona, en lugar de un monocultivo. En el caso de temporal deficiente, es necesario combinar cultivos de rendimiento potencial alto con cultivos estables, tolerantes a sequía o a la presencia de heladas tempranas. Lo anterior con el fin de diversificar las opciones y reducir los riesgos.

5.1. Cultivos y variedades

Se recomienda que los módulos se integren con los siguientes cultivos: sorgo x sudán (H-855F ó Sordán), maíz (Cafime y VS-208), avena (Chihuahua o Cuauhtémoc) y cebada (Puebla o Cerro Prieto), así como los pastos buffel (T-4464) y klein (S-75), en una hectárea cada uno, siguiendo los paquetes tecnológicos del INIFAP para cada uno de ellos (Loredo *et al.*, 1998).

En todos los casos, es importante sembrar cuando la tierra se encuentre a capacidad de campo, una vez que se establece el período lluvioso. Si esto sucede antes del 31 de julio, el módulo puede incluir todos los cultivos recomendados. Si las lluvias se presentan después de esa fecha, el área del módulo destinada a cultivos anuales se debe ocupar sólo por avena y cebada, para evitar el riesgo por heladas tempranas que puedan afectar al maíz o al sorgo. Los cultivos de avena y cebada tienen como fecha límite de siembra el 10 de agosto y los pastos el 30 de agosto. En todos los casos el corte de forraje de los cultivos anuales se debe realizar a más tardar la primera quincena del mes de octubre, debido al riesgo alto de heladas.

5.2. Rotación de cultivos

El establecimiento y manejo de módulos forrajeros ofrece la oportunidad de tener una rotación anual entre los cultivos de escarda y los tupidos, es decir, donde un año se establece maíz o sorgo x sudán, al año siguiente se puede establecer avena o cebada. La rotación de cultivos favorece el control de maleza. Según las experiencias derivadas del proyecto “*Reconversión de áreas agrícolas de baja productividad a uso pecuario*” (Loredo *et al.*, 1998), en el Cuadro 1 se presenta la rotación más

recomendable para un módulo de siete hectáreas, cuando se cuenta con dos genotipos de maíz.

Si sólo se cuenta con un genotipo, la rotación se simplifica. Cuando la superficie que se destina para el módulo es mayor a siete hectáreas, se dedica una séptima parte de dicha superficie para cada cultivo. Si es menor se recomienda seleccionar al menos un cultivo de escarda (maíz o sorgo x sudán), uno tupido (avena o cebada) y un pasto perenne.

Cuadro 1. Rotación de cultivos forrajeros recomendable para un módulo de siete hectáreas en condiciones de temporal deficiente.

AREA	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
1	p. buffel				
2	p. klein				
3	avena	maíz 2	cebada	sorgo X sudán	maíz 1
4	maíz 2	cebada	sorgo X sudán	maíz 1	avena
5	cebada	sorgo X sudán	maíz 1	avena	maíz 2
6	sorgo X sudán	maíz 1	avena	maíz 2	cebada
7	maíz 1	avena	maíz 2	cebada	sorgo X sudán

Maíz 1: Se recomienda maíz Cafime;

Maíz 2: Puede ser maíz VS-208 o una variedad recomendable para temporal deficiente.

5.3. Ventajas de los módulos forrajeros

En condiciones de temporal deficiente, las principales ventajas que presenta el cultivo de forrajes en módulos, sobre el cultivo de básicos como maíz o frijol son las siguientes:

- Ciclo de cultivo más corto.

- Mayor estabilidad en la producción (reducción de riesgo de pérdida total).
- Disponibilidad de forraje de calidad en épocas críticas.
- Incremento en el ingreso de los productores.

A continuación se describe brevemente cada una de estas ventajas.

Ciclo de cultivo más corto: En condiciones normales, la época de corte de los cultivos forrajeros, se realiza cuando el grano está en estado lechoso-masoso en el caso de maíz y sorgo (90 a 110 días después de la siembra) o bien, en floración e inicio del llenado de grano, en el caso de avena y cebada (70 a 90 días después de la siembra). Esto representa una reducción hasta de 30 días respecto al tiempo que requieren los mismos cultivos para producir grano, lo cual permite tener menor riesgo de siniestros por heladas tempranas y menor demanda total de agua. La época temprana de corte de los cultivos, también implica el corte de la maleza antes de que madure su semilla, lo cual favorece su control.

Mayor estabilidad en la producción: La propuesta del manejo de cultivos forrajeros en módulos, no pretende aumentos espectaculares en los rendimientos; lo que se busca es reducir riesgos y brindar mayor estabilidad a los sistemas de producción. Esto se logra estableciendo varios cultivos en lugar del monocultivo tradicional. La cantidad de agua demandada por los cultivos forrajeros es menor que la requerida para producir grano, debido al tiempo menor de permanencia en campo. Sin embargo, la distribución de la humedad disponible durante el ciclo de cultivo es un factor tan importante como la cantidad de agua de lluvia, ya que cada especie tiene diferente respuesta a la sequía de acuerdo al estado fenológico en el cual se presente la deficiencia de humedad (Loredo y Beltrán 1996; Loredo *et al.*, 1997).

Si los cultivos de avena o cebada sufren estrés hídrico severo en la fase de emergencia y amacollamiento, el número de tallos por planta se reduce considerablemente y se inicia la floración temprana, lo cual afecta negativamente el rendimiento de forraje. El sorgo y el maíz en esta fase, tienen mayor tolerancia a la sequía y reducen su tasa de crecimiento siendo capaces de alcanzar un desarrollo favorable, una vez que se presentan nuevamente las lluvias. No obstante, estos últimos presentan mayor riesgo a daño por heladas tempranas, especialmente en siembras tardías. Los pastos son más estables que los cultivos anuales, sin embargo su rendimiento potencial de forraje es menor que el del sorgo y maíz.

Al respecto, en el proyecto de *“Reconversión de áreas agrícolas de baja productividad a uso pecuario”*, se evaluó la relación de la humedad disponible durante el ciclo, con la producción que alcanzaron los cultivos, utilizando el índice de eficiencia en el uso del agua (EUA). Este índice relaciona la producción de materia seca (g/m^2) con la evapotranspiración (mm). En los ciclos PV-1994 y PV-1996 se estimó la EUA de los cultivos incluidos en el módulo de Villa de Arriaga. De acuerdo a la información del Cuadro 2, el sorgo x sudán fue el cultivo con mayor EUA.

Sin embargo, en 1995 el sorgo x sudán tuvo pérdida total debido a la presencia de una helada temprana, por lo cual su inclusión en el módulo sólo es recomendable dentro de las fechas de siembra límite ya señaladas. En resumen, lo más adecuado en la elección de los cultivos a establecer en los módulos forrajeros, es la inclusión de cultivos con alto rendimiento potencial como maíz y sorgo X sudán, con cultivos más tolerantes a condiciones ambientales desfavorables (avena y cebada) y cultivos perennes estables (pastos buffel y klein), tal como se aprecia en la Figura 4.

Cuadro 2. Producción de forraje y eficiencia en el uso del agua (EUA) de seis cultivos forrajeros en Villa de Arriaga, S.L.P. durante dos ciclos de cultivo.

CULTIVO	CICLO	Precipitación durante el ciclo (mm)	Producción (kg/ha Materia Seca)	EUA (g/kg)
Sorgo x sudán	PV-94	211	2200	1.38
	PV-96	312	4571	2.22
Maíz (Cafime)	PV-94	211	1430	0.86
	PV-96	312	3223	1.77
Avena (Cuauhtémoc)	PV-94	160	900	0.63
	PV-96	290	3335	2.28
Cebada (Puebla)	PV-94	160	950	0.72
	PV-96	290	2400	1.64
Pasto buffel (T-4464)	PV-94	244	1580	0.84
	PV-96	290	1990	1.93
Pasto klein (S-75)	PV-94	244	1635	0.89
	PV-96	290	1902	1.65

Fuente: Loredó *et al.*, 1997

Disponibilidad de forraje en épocas críticas. En los cultivos anuales, el forraje está listo para ser cortado cuando el maíz y el sorgo X sudán presenten en el grano la condición de lechoso-masoso; en cebada y avena el corte se realiza en floración. El forraje fresco y achicalado se puede proporcionar a los animales inmediatamente después del corte, o bien, se puede almacenar, ensilado o henificado, para su uso posterior. En el caso de los pastos, lo más recomendable es su utilización a través del pastoreo. Con estas opciones, los productores pueden seleccionar cual es la época

más oportuna para proporcionar el forraje al ganado, de acuerdo a sus necesidades.



Figura 4. Tipos de cultivos recomendados para integrar los módulos forrajeros. Se recomienda un pasto perenne (arriba a la izquierda) un cultivo de escarda (sorgo o maíz forrajero) y un cultivo tupido (avena y/o cebada). En el caso de cultivos anuales, el forraje debe ser cortado fresco para su ensilado o henificación; los pastos se aprovechan directamente a través del pastoreo.

Normalmente en las zonas de temporal deficiente existe un periodo crítico para la disponibilidad de forraje, asociado a la ausencia de lluvias y/o a la presencia de heladas. En este periodo (noviembre-junio), el forraje alcanza un precio alto, sobre todo si el temporal que se presentó en la zona, fue deficiente y la producción de forraje fue baja y de mala calidad, en terrenos agrícolas o en el agostadero. Lo más conveniente es almacenar el forraje y utilizarlo en ese período.

Incremento en el ingreso de los productores: Los análisis de rentabilidad de 1993 a 1997, indican que la rentabilidad promedio por hectárea fue mayor en el módulo (\$ 838) que la obtenida por el productor en el unicultivo de frijol (\$ 127). Los cultivos más estables en relación al ingreso, son el maíz Cafime y los pastos buffel y klein; el de mayor utilidad sin considerar siniestros por heladas es el sorgo X sudán (Cuadro 3). Los cultivos de avena y cebada registraron pérdidas en dos de los cinco años que se sembraron, sin embargo, en 1995 permitieron que el módulo fuera productivo ya que los cultivos de escarda se vieron afectados por heladas. En ese año, las condiciones de humedad presentadas en la etapa de emergencia y amacollamiento favorecieron la producción de forraje en avena y cebada.

Una situación similar se presentó en la fase de validación de resultados, en 1996 en el ejido Zapotillo, Mpio. de Villa Hidalgo, donde nuevamente los cultivos de cebada y avena destacaron más que el sorgo o el maíz, alcanzando producciones de 5.36 y 5.29 ton/ha de materia seca respectivamente, comparadas con 3.11, 1.71 y 1.20 ton/ha en sorgo X sudán, maíz Cafime y maíz VS-208 en ese orden (Loredo y Beltrán, 1997). En esa localidad el terreno recibe aporte de humedad de escurrimientos superficiales.

La "pérdida" observada el primer año en los pastos buffel y klein (Cuadro 3), se debe a que en ese año se encontraban en fase de establecimiento y no tuvieron producción (Cuando se realizan siembras de pastos en condiciones de temporal deficiente, el primer año se excluye el área sembrada para permitir el establecimiento del pasto). Sin embargo en los siguientes años contribuyeron en forma constante a la utilidad total, superando las expectativas planteadas al inicio del estudio.

Cuadro 3. Rentabilidad del módulo forrajero de La Lugarda, Mpio. de Villa de Arriaga, S.L.P. (1993-1997).

CULTIVO	UTILIDAD (\$/ha)					Prom.
	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	
Sorgo x Sudán	893	1,101	(805)	3,301	4219	1742
Maíz Cafime	875	305	235	2,166	1976	1112
Maíz VS-208	655	767	(85)		1987	831
Cebada Cerro Prieto	(186)	(230)	1,468	919	(240)	346
Avena Chihuahua	(104)	(190)	1,882	1,566	187	668
Pasto. Llorón			(360)	(250)		(305)
Pato. Klein	(387)	561	1,352	905	1571	800
Pasto. Buffel	(387)	525	1,162	988	1692	796
TOTAL DEL MODULO	1,359	2,749	4,849	9,595	11,392	5989
Promedio/hectárea	194	393	606	1,371	1,627	838
TESTIGO (Frijol)	(134)	(145)	(215)	1,180	(50)	127

Números entre paréntesis indican pérdida.

Fuente: Loredo *et al.*, 1997

5.4. Limitaciones de los módulos forrajeros

Se requiere maquinaria especial (cortadoras y ensiladoras) para la cosecha del forraje. Los productores se deben capacitar en el manejo y operación de silos y henos, debido a que en condiciones de temporal deficiente, sólo están acostumbrados a utilizar rastrojos, pajas y tazoles.

El sorgo x sudán y el pasto klein, presentan acumulación de ácido cianhídrico en condiciones de estrés (sequía o heladas), especialmente en la fase de desarrollo. En el caso de sorgo x sudán, el achicalado y ensilado evita el riesgo por envenenamiento en los animales. En el pasto klein, es necesario dejar pasar unos días después de la helada o sequía antes de introducir los animales al pastoreo.

5.5. Producción esperada

La producción mínima esperada en una superficie de siete hectáreas, es de 48 ton de forraje fresco (14 ton de materia seca); la producción máxima reportada es de 87.5 (25.5 ton de materia seca).

5.6. Dominio de recomendación

Esta tecnología puede ser aplicada en 220 mil ha que se encuentran abiertas al cultivo y que fueron identificadas como marginales y de bajo potencial, de acuerdo a la regionalización de provincias agronómicas y tierras de labor para el cultivo de maíz en San Luis Potosí (Hernández *et al.*, 1993), siempre y cuando los productores de estas tierras combinen actividades agrícolas y ganaderas en sus sistemas de producción. Aplica también a otros estados con tierras marginales limitadas por humedad deficiente.

6. CONCLUSIONES

- Las prácticas agronómicas, comúnmente conocidas como labranza, se refieren a las distintas manipulaciones mecánicas de los suelos con el fin de mantenerlos en condiciones óptimas para el desarrollo de los cultivos. En San Luis Potosí, el uso del multiarado como un sistema de labranza reducida ha dado resultados satisfactorios en condiciones de riego y temporal.
- Las prácticas vegetativas consideran el desarrollo de plantas o cultivos, o el manejo de la vegetación natural, con la finalidad de mejorar la capacidad productiva de los terrenos y ayudar a disminuir la erosión del suelo. Actualmente se consideran la mejor herramienta para reducir las pérdidas de suelo en las zonas áridas y semiáridas, sin embargo se ven limitadas por el reducido período de crecimiento de las plantas en estas zonas, debido a la escasa precipitación y a la presencia de heladas tempranas y tardías.
- La recuperación de la cubierta vegetal en los pastizales es útil para el control de la erosión hídrica. Si la superficie del suelo cubierta por vegetación o sus residuos es mayor al 70%, la pérdida de suelo por erosión hídrica es nula. Esto es especialmente importante en el manejo y aprovechamiento de los agostaderos, ya que son los ecosistemas con mayor grado de erosión.
- La reconversión de áreas agrícolas de baja productividad a uso pecuario con la siembra de módulos forrajeros en condiciones de temporal deficiente, presenta las siguientes ventajas sobre el cultivo de básicos como maíz o frijol: ciclo de cultivo más corto, mayor estabilidad en la producción, disponibilidad de forraje de calidad en épocas críticas e incremento en el ingreso de los productores.

6. LITERATURA CITADA

1. Arredondo, G. A. 1998. Alternativas de uso del suelo mediante diversas especies forestales no maderables en el Altiplano Potosino. Informe de logros de proyectos financiados por la Fundación Produce de San Luis Potosí. Documento interno. 12 p.
2. Becerra, M. A. 1990. Erosión de suelos. Apuntes de primera parte del curso "Conservación de suelos". Ed. Departamento de suelos, Universidad Autónoma Chapingo. México. 110 p.
3. Beltrán, L. S. 1988. Infiltración y producción de sedimentos en tres tipos de vegetación del del Rancho Los Angeles. Tesis de Maestría. UAAAN. Saltillo, Coah. México. 94 p.
4. Beltrán, L. S y Loredo O. C. 1999. Rehabilitación y manejo de pastizales de zonas áridas y semiáridas. Informe Final de Proyecto. C.E. Palma de la Cruz. San Luis Potosí. S.L.P.
5. COTECOCA. 1987. Las gramíneas de México. Tomo II. SARH. P 8
6. Ffolliot, F.,P. 1994. Agroforestry. School of Renewable Natural Resources of the University of Arizona. 89 p.
7. Figueroa, S. B., Amante O. A., Cortes T. H. G., Pimentel L. J., Osuna C. E. S., Rodríguez O. J. M. y Morales F. F. J. 1991. Manual de predicción de pérdidas de suelo por erosión. SARH. Colegio de Postgraduados. Centro regional para estudios de zonas áridas y semiáridas. 159 pp
8. Figueroa, S., B. 1975. Pérdida de suelo y nutrimentos y su relación con el uso del suelo en la Cuenca del Río Texcoco. Tesis. M.C. Colegio ce Postgraduados de Chapingo, México.
9. García, M.,E. 1993. Necesidades de información para el manejo de arbustivas en terrenos de agostadero. Sociedad mexicana de Manejo de pastizales. Memorias del Simposio Internacional sobre Ecología y manejo de arbustivas. Hermosillo, Sonora, México. p 51-78
10. González, E.A. 1990. Los tipos de agricultura y las regiones agrícolas de México. Colegio de Postgraduados. Montecillos, Edo. de México. 140 p.
11. Hernández, A. A., Jasso, Ch. C., Beltrán, L. S. y Rocha O. F. 1993. Provincias agronómicas y catálogo de tecnologías para el cultivo de maíz en

- el Estado de San Luis Potosí. Publicación especial No. 5. INIFAP- S.L.P. 53 p
12. Hernández, R. A., Villanueva D. J. y Loredo O.C. 1999. Establecimiento, manejo y aprovechamiento integral de especies forestales de zonas semiáridas del noreste de México. Informe anual de actividades 1998. Documento interno.
 13. Kohnke, H. 1968. Soil physics. McGraw Hill, New York. 224 p.
 14. Kohnke, N. And Bertrand A.R. 1959. Soil Conservation. McGraw-Hill, N. York. 298 p.
 15. Loredo, O. C. 1986. Efecto de la aplicación de estiércol caprino sobre la estabilidad de agregados del suelo. Reporte Final de Problema Especial. Física de Suelos. UAAAN. 19 p.
 16. Loredo, O. C. 1994. Efecto de la reforestación en el control de la erosión hídrica. Tesis de Maestría en Suelos. UAAAN. 96 p.
 17. Loredo, O. C. y Beltrán L. S. 1996. Eficiencia en el uso del agua de cultivos forrajeros en temporal deficiente. Memorias de la III Reunión Nal. sobre Sistemas de Captación de Lluvia. San Luis Potosí, S.L.P p. 141-146
 18. Loredo, O. C., C. Rivas y J. Huerta D. 1997. Eficiencia en el uso del agua de cultivos forrajeros (pv 1996) en el Altiplano Potosino. Memorias de la IV Reunión Nal. sobre Sistemas de Captación de Lluvia. Torreón Coah. p. 171-176.
 19. Loredo, O. C. y Beltrán L.S. 1997. Módulo para la producción de forraje en temporal deficiente. Validación de resultados. En Memorias de la XXXIII Reunión Nacional de Investigación Pecuaria. Veracruz, 1997. P 430.
 20. Loredo, O.C., S. Beltrán L y J.L. Barrón C.; 1997. Evaluación de la rentabilidad de un módulo productor de forraje en el Altiplano Potosino. Memorias de la IV Reunión Nacional sobre Sistemas de Captación de Lluvia. Torreón Coah. p. 177-181
 21. Loredo, O.C., S. Beltrán L y J.L. Barrón C.; 1998. Reconversión de áreas agrícolas de baja productividad a uso pecuario. Foll. Téc. SAGAR-INIFAP- C.E. Palma de la Cruz, S.L.P. 22 p.

22. Loredó, O. C., S. Beltrán L. y G. Vázquez U. 2000. Producción de sedimentos en una pradera de pasto buffel (*Cenchrus ciliaris*) en el Altiplano Potosino. In: Quintero L., R., T. Reyna T., L. Corlay Ch., A. Ibáñez H. y N. García C. Eds. La edafología y sus perspectivas al siglo XXI. Tomo I. p 181-185.
23. Loredó, O. C., F. Moreno S. y S. Beltrán L. 2005. Evaluación de tierras para el manejo de 32 microcuencas hidrológicas en el estado de San Luis Potosí. 2º. Informe de Avance Técnico del proyecto 2002-C01-6320. Fondo Sectorial CONACyT - CONAFOR. 5 p.
24. Mannering J.V. y Meyer L.D. 1963. The effect of various rates of surface mulch on infiltration and erosion. *Soil Sci.Soc.Am. Proc., Madison*, 27:84-6.
25. Martín, R. M. H. e Ibarra, F. F. 1995. Productividad y calidad forrajera. En: PATROCIPES Ed. Guía para el establecimiento, manejo y utilización del zacate buffel. Hermosillo, Son. México. p. 31-40.
26. Martínez, G. M. A. Transferencia de labranza de conservación en sistemas de producción agrícola en San Luis Potosí. Informe anual de actividades 2003. CIRNE-INIFAP.CE Palma de la Cruz. 8 p.
27. Meyer, L.D.; Wischmeier W.H. y Foster G.R. 1970. Mulch rates required for erosion control on steep slopes. *Soil. Sci. Soc. Am. Proc., Madison*, 34:928-31.
28. Morris, M.L., A. Belaid y D. Byerlle. 1991. La producción de trigo y cebada en ambientes marginales de temporal del mundo en desarrollo. CIMMYT 1990-1991. En: Hechos y tendencias mundiales relacionadas con el trigo. 1a. parte. México. 50 p.
29. Ortiz, S. M. de la L., M. Anaya G. y W. J. Estrada B. 1994. Evaluación, cartografía y políticas preventivas de la degradación de la tierra. Publicación Técnica. Colegio de Postgraduados. México. 49 p.
30. Ríos B., J. D. 1987. Efecto de la cobertura vegetal en el proceso erosivo. Tesis Maestría. Centro de Edafología. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México. 226 p.
31. SARH-CP. 1992. Estudio de niveles de erosión actual y permisible de la zona agrícola del DDR 126 San Luis Potosí, S.L.P.; Centro Regional de Estudios de Zonas Áridas y Semiáridas (CREZAS) p 59-62.

32. Schamab, G.O., Frevert R. K., Edminster F. y Barnes K. K. 1990. Ingeniería de conservación de suelo y agua. Editorial LIMUSA. Pp.67-70. 113-121.
33. Singer, M.J. Matsuda Y. y Blackard, J. 1981. Effect of mulch rate on soil loss by raindrop splash. *Soil Sci. Soc. Am. Journal*, Madison. 45: 101-110.
34. Singer, M.J. y Blackard J. 1978. Effect of mulching on sediment in runoff from simulated rainfall. *Soil Sci. Soc. Am Proc.*, Madison. 42:481-86.
35. Wischmeier, W. H. and D. D. Smith. 1965. Predicting Rainfall Erosion Losses from Cropland East of the Rocky Mountains. USDA Agr. Handbook 282.
36. Zárate L., A. 1988. Determinación de las tasas de infiltración, escurrimiento y producción de sedimentos en tres tipos de suelo del Rancho Los Ángeles. Tesis de Maestría. UAAAN, Saltillo, Coah. México. 106 p.

PRÁCTICAS MECÁNICAS PARA EL CONTROL DE LA EROSIÓN HÍDRICA

Catarina Loredo Osti¹, Sergio Beltrán López¹, J. Luis Sarreón Tristán² y Marcos C. Domínguez³

1. INTRODUCCIÓN

El suelo es un recurso natural básico que sirve de enlace entre los factores bióticos y abióticos de los ecosistemas terrestres. Actualmente es considerado un recurso no renovable; su pérdida constituye un problema para las generaciones actuales y futuras. De acuerdo al Inventario Nacional de Tierras Erosionadas, se estima que en el 81% del territorio de la República Mexicana se manifiesta algún grado de erosión, que varía de leve a muy severa (SARH, 1986); la erosión hídrica y eólica se presenta en 158.8 millones de hectáreas, con pérdidas promedio de 2.75 toneladas de suelo por hectárea por año (CONAZA, 1993).

La erosión es un proceso físico que consiste en el desprendimiento, transporte y deposición de las partículas del suelo por los agentes erosivos (Kirkby, 1984). Si este proceso se lleva a cabo en condiciones naturales se denomina erosión geológica, pudiendo ser considerada en tal caso, como una forma más de conformación del relieve. Si la erosión se incrementa por las actividades humanas se manifiesta la erosión acelerada o inducida (Figueroa *et al.*, 1991), la cual se presenta al manipular la capa arable y cobertura de cultivos, al promover la sobreutilización de los pastizales o al deforestar áreas arboladas o de arbustos (Loredo, 1994).

¹ Dr. Investigador Titular del Campo Experimental San Luis, CIRNE-INIFAP; loredo.catarina@inifap.gob.mx; beltran.sergio@inifap.gob.mx;

² Ing. Agr.; Jefe de Proyecto en la Gerencia Estatal del FIRCO en San Luis Potosí.

³ Ing. Rec. Nat. Técnico de microcuencas en San Luis Potosí; mcasiani@hotmail.com

En el caso de la erosión hídrica, la lluvia tiene efecto a través del impacto de las gotas de lluvia sobre la superficie del suelo y por el humedecimiento de éste, que provocan desagregación de las partículas primarias, origina también el transporte de partículas por aspersión y proporciona energía al agua del escurrimiento superficial (Schamab *et al.*, 1990). Los daños causados por la erosión hídrica pueden ser de diferente tipo; de acuerdo a Foth y Turk (1975), los principales daños son los siguientes:

Pérdida de la productividad del suelo. Normalmente el suelo que se pierde por erosión hídrica es el de la capa arable, el cual tiene mayor cantidad de materia orgánica y nutrientes; además, es donde existe la mayor actividad biológica de los microorganismos; lo anterior reduce la capacidad productiva del terreno.

Pérdida del agua por escurrimiento. Cuando llueve, el agua que no se infiltra, además de ocasionar daños por erosión, es agua que se pierde por escurrimiento y que no podrá ser aprovechada por la vegetación o cultivos.

Depósito de tierra infértil en terrenos productivos. Cuando los procesos de erosión son severos, durante la formación de cárcavas, se arrastra material del subsuelo que se puede depositar sobre un terreno productivo, afectando negativamente su capacidad de producción, ya que queda enterrado el suelo de buena calidad.

Formación de cárcavas en terrenos de cultivo. El escurrimiento superficial puede originar pequeños arroyuelos, que posteriormente se llegan a transformar en zanjas y barrancas. Estas pueden fraccionar las parcelas de cultivo e impedir la operación adecuada del tractor con los diferentes implementos agrícolas. Se reduce la eficiencia en la preparación del terreno.

Sedimentación de los vasos de almacenamiento. Los sedimentos transportados en el escurrimiento pueden llegar a arroyos que desemboquen en lagos, lagunas o presas. Lo anterior disminuye la capacidad de almacenamiento de los vasos y en el caso de las presas, se reduce también la vida útil de la obra.

Las medidas de conservación del suelo deben incluir cuatro acciones básicas: 1) proteger el suelo contra el impacto de las gotas de lluvia; 2) incrementar la capacidad de infiltración para reducir el escurrimiento superficial; 3) mejorar la estabilidad de los agregados del suelo para hacerlo más resistente a la erosión por salpicamiento; y, 4) aumentar la aspereza o rugosidad de la superficie para reducir la velocidad del escurrimiento (Kirkby y Morgan, 1984). Estas acciones se pueden lograr a través del manejo del terreno con prácticas agronómicas y vegetativas (capítulo dos de este libro), tales como la preparación adecuada del terreno, la aplicación de materia orgánica, la adición de abonos verdes, etc., así como prácticas mecánicas.

Las prácticas mecánicas son aquellas actividades que se realizan con implementos agrícolas, aditamentos especiales o con mano de obra y consisten en realizar movimientos de tierra, con el fin de disminuir los escurrimientos superficiales y reducir la erosión en terrenos con pendiente. Además, en las zonas áridas y semiáridas, existen zonas agrícolas donde el conocimiento y la experiencia tradicional han propiciado una agricultura basada en el manejo de los escurrimientos superficiales a través de la utilización del agua que escurre en corrientes intermitentes durante la época de lluvias, la cual es dirigida hacia parcelas limitadas por “bordos parcelarios”, generalmente localizados en la parte baja de las microcuencas; a estos terrenos les llaman “enlamados”.

Antes de diseñar las estructuras utilizadas en la conservación del

suelo y agua, especialmente las prácticas mecánicas, se debe tener información sobre la época de lluvias y de los escurrimientos que se presentan en el área de la microcuenca. Para el diseño de las terrazas de formación paulatina, individuales o de banco, canales de desvío y otras estructuras usuales para resolver los problemas de erosión, es necesario estimar los escurrimientos máximos a diferentes periodos de retorno, tomando en cuenta la intensidad-duración de la precipitación, así como el tamaño y características de la microcuenca (CP, 1977).

En este capítulo se presentan los antecedentes sobre las prácticas mecánicas en México, un método empírico para estimar el escurrimiento superficial, así como las principales características para el diseño de prácticas mecánicas que permitan el manejo adecuado de terrenos con pendiente en las zonas semiáridas.

1.1 Antecedentes sobre prácticas mecánicas de conservación del suelo en México

Existen antecedentes sobre el uso de terrazas de banco en la época prehispánica; un ejemplo son las “*Terrazas de Nezahualcoyotl*” ubicadas en Texcoco, Méx. (Trueba, 1981) y las terrazas de banco encontradas en el estado de Nayarit (Bifano, 1983). Sin embargo, Trueba (1981), señala que los primeros estudios que evidenciaron la necesidad de realizar acciones de conservación del suelo, fueron desarrollados por la Comisión Nacional de Irrigación.

En las últimas décadas, el país ha experimentado diversos esquemas oficiales de conservación de suelos (Trueba, 1995). Las acciones para el control de la erosión, iniciaron institucionalmente, a partir de 1946 con la creación de la Dirección General de Conservación del Suelo y Agua, al amparo de la recién promulgada Ley de Conservación del Suelo y Agua. En ese entonces, las actividades se centraron en el

convencimiento de los productores a base de ofrecerles asesoría técnica. En una segunda etapa, se establecieron las Delegaciones de Conservación de Suelos y se otorgaron recursos fiscales para la construcción de obras (García, 1983).

Se ha comprobado que en tierras de pastizal y bosque, el manejo de la vegetación con una cobertura mayor al 70% en la superficie del suelo evita la erosión del suelo (Loredo *et al.*, 2000; Beltrán, 1988) y en las tierras agrícolas, las rotaciones de cultivos y la incorporación de residuos orgánicos reducen hasta un 90% este tipo de erosión (Ríos, 1987; Wischmeier y Smith, 1965). Sin embargo, los sistemas tradicionales de monocultivo y el minifundio, dificultaron la implementación de tales prácticas, por lo cual, el esfuerzo de la Dirección de Conservación del Suelo se enfocó principalmente al control de la erosión mediante prácticas mecánicas (Trueba, 1981).

Las líneas de acción se centraron en la construcción de terrazas de formación sucesiva y de presas filtrantes para el control de azolves. En la mayoría de los casos, la ubicación de las obras fue consecuencia de solicitudes, y en general no se observó si era el sitio más adecuado, si era la práctica más eficiente o si la inversión podría recuperarse (Martínez, 1983). Al finalizar los años 80, desapareció la Dirección de Conservación del Suelo y sus acciones pasaron a formar parte del programa de actividades de la Dirección de Infraestructura Rural y posteriormente al Fideicomiso de Riesgo Compartido (FIRCO).

Actualmente, varias dependencias tales como CONAFOR, CONAZA, FIRCO y Gobiernos Estatales, realizan obras de manejo, conservación y restauración de suelos. En algunos estados como San Luis Potosí, estas acciones se canalizan a los productores a través del Programa de Microcuencas.

El Programa Nacional de Microcuencas que ha instrumentado la SAGARPA, describe a la microcuenca como la unidad básica de atención de proyectos económicos de conservación de suelo y agua y de desarrollo comunitario. Establece como principios el: atender, entender y respetar la problemática, necesidades, demandas objetivos y decisiones comunitarias, además de corresponsabilizar y transferir medios y funciones a organizaciones comunitarias. Uno de sus objetivos fundamentales es el de impulsar procesos de planeación y acción participativa, además de rehabilitar, conservar, proteger y aprovechar los recursos naturales. Para esto establece como estrategia principal, la elaboración del *Plan Rector de Producción y Conservación* (Candia, 2004).

Por ello, cuando se proyecten prácticas mecánicas para el control de la erosión, es importante, además de los aspectos técnicos, considerar la participación activa de los productores en la programación de acciones, su compromiso en la ejecución y aprovechamiento de la obra, así como los costos y la utilidad que se vayan a generar. Los productores deben seleccionar -si es posible con asesoría técnica-, las mejores prácticas que se adapten a sus unidades de producción y absorber parte de los costos de su realización. En caso contrario, las obras corren el riesgo de ser destruidas.

2. CALCULO DEL ESCURRIMIENTO SUPERFICIAL

El escurrimiento superficial es la parte de la precipitación total que no alcanza a infiltrarse en el suelo y se mueve sobre la superficie del terreno (Brooks *et al.*, 1993). Inicialmente se mueve en forma laminar y al acumularse en las zonas más bajas del terreno, forma pequeños canalillos o arroyos que alimentan a las corrientes intermitentes y finalmente a los ríos (CONAFOR, 2004).

La frecuencia o período de retorno de las lluvias es la periodicidad media estadística en años con que se pueden presentar las tormentas de características similares en intensidad y duración. En los trabajos de conservación de los suelos las frecuencias que más se utilizan son las de 5 y 10 años (CP, 1977).

2.1. Determinación de la lluvia máxima probable en 24 horas y del período de retorno

En la República Mexicana no se cuenta con suficientes estaciones de aforo para obtener información hidrométrica en una cuenca pequeña. Por lo anterior, la estimación del escurrimiento que genera una microcuenca se puede basar en un análisis de la información disponible sobre lluvias máximas que se han registrado en la zona de interés. A continuación se presentan los pasos de un análisis estadístico de lluvias máximas en 24 horas, para un período de retorno de cinco años, haciendo la aclaración que es un método empírico y debe ser considerado como aproximado.

Integración de series a utilizar

Inicialmente se integran los registros de lluvia máxima en 24 horas para 5 años de observación, a través de una consulta en la Comisión Nacional del Agua o en el Servicio Meteorológico Nacional. Enseguida se realiza una selección de los valores más críticos para el análisis, ya que la metodología utilizada no involucra todos los datos, sino los más altos; con ellos se forma la serie que es definida como una “secuencia conveniente de datos” (Campos, 1992). Los valores obtenidos se integran por medio de la serie de excedentes anuales para lo cual se toma como valor mínimo el de 25 milímetros (Loredo, 1986).

En el cuadro 1 se presenta un ejemplo de los datos del registro de lluvias máximas, tomando como estación la de una comunidad denominada San Rafael. En este ejemplo, en el año 1997 se tuvieron tres registros superiores a 25 mm; en el año 1999, cinco eventos lluviosos rebasaron este límite inferior.

Cuadro 1. Lluvias máximas en 24 horas en la estación San Rafael, para un período de observación de 5 años.

AÑO	Precipitaciones máximas en 24 horas				
1997	28.5	<u>55.7</u>	<u>60.6</u>		
1998	29.6	32.5	35.6	<u>57.2</u>	
1999	30.2	30.9	39.1	40.9	<u>52.3</u>
2000	25.1	30.9	35.3	<u>70.2</u>	
2001	25.3	31.1	36.8		

FUENTE: Servicio Meteorológico Nacional.

A partir de dicho cuadro se seleccionan los cinco eventos más altos que son 52.3, 55.7, 57.2, 60.6 y 70.2; con ellos se realiza el procesamiento estadístico de la serie formada utilizando la metodología de la “interpolación” que se debe usar cuando el número de años de registro es mayor o igual a los períodos de retorno incluidos. Los valores probables de lluvia máxima en 24 horas se deducen por una regresión lineal entre los datos y los logaritmos decimales de sus períodos de retorno. Para la deducción de los períodos de retorno se usa la siguiente fórmula de Weibull (CONAFOR, 2004):

$$Tr = \frac{n+1}{m} \quad \boxed{\text{Ecuación 1}}$$

En donde:

- $Tr =$ Período de retorno en años
 $n =$ Número de años de registro
 $m =$ Número de orden del evento, 1 para el mayor y n para el menor.

A continuación se relaciona la lluvia máxima probable con el período de retorno mediante la siguiente ecuación:

$$Ptr = A + B (\log Tr) \quad \boxed{\text{Ecuación 2}}$$

En donde:

$Ptr =$ Lluvia máxima en 24 horas (mm) con un período de retorno Tr .

A y $B =$ Parámetros de ajuste

Si asumimos que $Ptr = y$; $\log Tr = x$; $A = b$; y $B = m$, la ecuación anterior representa la ecuación de la recta:

$$y = mx + b \quad \boxed{\text{Ecuación 3}}$$

la cual estima sus parámetros por medio de las siguientes expresiones:

$$A = b = \bar{y} - m\bar{x} \quad (\text{ordenada al origen de la recta})$$

Siendo:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{i=n} Xi = \frac{1.811}{5} = 0.3622$$

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{i=n} Yi = \frac{296}{5} = 59.20$$

$$B = m = \frac{S_{xy}}{S^2_x}$$

$$S_{xy} = \frac{1}{n} \sum_{i,j=1}^{i,j=n} (X_i - \bar{x})(Y_i - \bar{y})$$

$$S_{xy} = \frac{1}{n} \sum_{i,j=1}^{i,j=n} X_i Y_j - xy = \frac{7.327}{5} = 1.4654$$

$$S^2_x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{i=n} (X^2_i - \bar{x}^2) \\ = \frac{0.304}{5} = 0.0608$$

Entonces:

$$m = 1.4654/0.0608 = 24.102$$

$$A = b = y - mx = 59.20 - (24.102)(0.36) \\ = 59.20 - 8.73 \\ = 50.47$$

Sustituyendo valores en la ecuación de la recta (Ecuación 3), si Tr = 5:

Entonces $x = \text{Log}(5) = 0.6989$

$$y = 24.102(x) + 50.47$$

$$y = 24.102(0.6989) + 50.47$$

$$y = 16.8449 + 50.47$$

$$y = 67.31 \text{ mm}$$

Entonces la precipitación máxima probable con un período de retorno de 5 años es de 67.31 milímetros.

Coefficiente de correlación (r). Es una medida de la dependencia entre las variables, generalmente se obtienen valores altos, comprendidos entre 0.92 y 0.99. (Si $r = \pm 1.00$ corresponde a una correlación perfecta; y Si $r = 0.00$ la correlación es nula). El valor de r se estima con la siguiente ecuación (Ostle, 1981):

$$r = \frac{S_{xy}}{S^2_x S^2_y}$$

$$S^2_y = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^{j=n} (Y_j - \bar{y}) = \frac{186.82}{5} = 37.364$$

$$r = \frac{1.4654}{(0.0608)(37.364)}$$

$$r = \frac{1.4654}{2.27} = 0.9728$$

En este ejemplo, el coeficiente de correlación obtenido ($r = 0.9728$) indica que existe una alta relación entre la lluvia máxima en 24 horas y el período de retorno. En el Cuadro 2 se presenta una síntesis de este procedimiento, el cual se puede simplificar ampliamente con el uso de una hoja de cálculo.

Cuadro 2. Cálculo de la lluvia máxima probable en 24 horas para un período de retorno de 5 años.

Núm. de orden	$Y_i = p$ máx en 24 hr (mm)	$Tr = \frac{n+1}{m}$	$X_i = \log Tr$	$X_i Y_i$	X_i^2	Y_i^2	$(X_i Y_i - \bar{x}\bar{y})$	$(x^2_i - \bar{x}^2)$	$(Y_i^2 - \bar{y}^2)$
1	70.2	6.0	0.778	54.62	0.605	4928.04	33.177	0.474	1 423.40
2	60.6	3.0	0.477	28.91	0.227	3672.36	7.464	0.096	167.72
3	57.2	2.0	0.301	17.22	0.091	3271.84	-4.223	-0.041	- 232.80
4	55.7	1.5	0.176	9.81	0.031	3102.49	-11.632	-0.100	- 402.15
5	52.3	1.2	0.076	3.98	0.006	2735.29	-17.462	-0.125	-769.35
	296.0		1.811				7.327	0.304	186.82

Fuente: Loredó, 1986.

$$\bar{y} = \frac{296}{5}$$

$$\bar{y} = 59.20$$

$$\bar{x} = \frac{1.811}{5}$$

$$\bar{x} = 0.3622$$

p (mm) = Precipitación en milímetros

n = Número de años registrados

m = Número de orden del evento

2.2. Cálculo del escurrimiento medio anual

Para determinarlo se utiliza la siguiente fórmula (Brooks *et al.*, 1993):

$$V_m = A \ C \ P_m \quad \text{Ecuación 4}$$

En donde:

V_m = Volumen medio anual escurrido (miles de m^3)

A = Área de la cuenca (km^2)

C = Coeficiente de escurrimiento que varía de 0.1 a 1.0

P_m = Precipitación media (mm)

Como el área de estudio puede presentar diferentes tipos de texturas de suelos, vegetación y pendiente del terreno, se calcula el coeficiente de escurrimiento para cada área de acuerdo con el Cuadro 3.

Cuadro 3. Valores del coeficiente “C” para el cálculo del escurrimiento

Tipo de vegetación	Topografía	Textura del suelo		
		Gruesa	Media	Fina
Bosque	Plano (0-5% pendiente)	0.10	0.30	0.40
	Ondulado (6-10% de pendiente)	0.25	0.35	0.50
	Escarpado(11-30% de pendiente)	0.30	0.50	0.60
Pastizales	Plano (0-5% pendiente)	0.10	0.30	0.40
	Ondulado (6-10% de pendiente)	0.16	0.36	0.55
	Escarpado(11-30% de pendiente)	0.22	0.42	0.60
Terrenos Cultivados	Plano (0-5% pendiente)	0.30	0.50	0.60
	Ondulado (6-10% de pendiente)	0.40	0.60	0.70
	Escarpado(11-30% de pendiente)	0.52	0.72	0.82

Fuente: CP, 1977.

Enseguida se calcula el promedio ponderado, considerando la superficie en hectáreas de cada tipo de condición encontrada. Esta información se ejemplifica en el Cuadro 4, donde los cálculos se realizan para una microcuenca ejemplo de 13,636 hectáreas, con una precipitación promedio anual de 359.3 mm, donde las superficies para cada condición se presentan en la columna dos; en la columna tres se coloca el valor del coeficiente C obtenido en el cuadro tres; en la columna cuatro se obtiene el producto de la columna dos por la tres, y finalmente en la columna cinco se obtiene el valor ponderado del coeficiente “C” para la microcuenca, al dividir 5,837 entre 13,636.

Cuadro 4. Cálculo del coeficiente de escurrimiento “C”

Condiciones de la microcuenca	Superficie (ha) (col 1)	Coeficiente de escurrimiento (col 2)	c.1 x c.2	Coeficiente de escurrimiento (C) ponderado
Terreno cultivado				C = 0.42
Plano y con textura media	3,400	0.50	1,700	
Plano y con textura gruesa	3,076	0.30	922.8	
Ondulado y con textura fina	1,050	0.70	735	
Ondulado con textura media	750	0.60	450	
Ondulado con textura gruesa	1,200	0.40	480	
Pastizales				
Ondulado con textura media	920	0.36	331.2	
Escarpado con textura media	1,840	0.42	772.8	
Escarpado con textura gruesa	910	0.22	200.2	
Bosques				
Escarpado con textura media	490	0.50	245	
T O T A L	13,636		5,837	

Fuente: CP, 1977.

Aplicando la Ecuación 4:

$$V_m = A C P_m$$

$$V_m = 136.36 \text{ km}^2 (0.42) (359.3 \text{ mm})$$

$$V_m = 20,577.5 \text{ miles de m}^3 \text{ al año}$$

Entonces, en una microcuenca de 13,636 has, precipitación media anual de 359.3 mm y las condiciones expresadas en el cuadro 4, el volumen medio anual que escurre es de 20,577.5 miles de m³ al año.

2.3. Cálculo del escurrimiento máximo

Cuando en el área de estudio no se disponga del valor de la intensidad de la lluvia, se selecciona el método “Racional Modificado” para el cálculo del escurrimiento máximo, donde este valor es sustituido por el valor de la lluvia máxima en 24 horas, que en este caso corresponde a 67.3 mm. Para obtener el escurrimiento máximo se utiliza la siguiente fórmula:

$$Q = 0.028 CLA \quad \boxed{\text{Ecuación 5}}$$

En donde:

$$Q = \text{Escurrecimiento máximo (m}^3 \text{ / seg)}$$

$$0.028 = \text{Constante numérica para ajuste de unidades}$$

$$C = \text{Coeficiente de escurrimiento}$$

$$L = \text{Lluvia máxima en 24 horas (cm)}$$

$$A = \text{Área de la cuenca o microcuenca (ha)}$$

Aplicando la ecuación 5:

$$Q = 0.028 (0.42)(6.73)(13.636)$$

$$Q = 1,079.2 \text{ m}^3 / \text{seg}$$

Es importante considerar que en el caso más crítico, la lluvia máxima reportada en 24 horas se asume que se puede presentar en una hora. Por tal motivo este valor se considera en cm/hora (CP, 1977).

3. METODOS MECANICOS PARA EL CONTROL DE LA EROSION

Cuando ya se tienen caracterizadas las condiciones de la microcuenca incluyendo la predicción de riesgo a la erosión, el cálculo de la lluvia probable en 24 horas para un período de retorno de cinco años y el escurrimiento promedio, se procede a realizar un análisis de las prácticas de conservación del suelo más adecuadas para los terrenos agrícolas y para las áreas destinadas a otros usos.

Es importante considerar que las normas para el manejo eficiente del suelo de acuerdo a su capacidad de uso, se determinan tomando en cuenta la clasificación de uso potencial. Una de las bases para la selección de las prácticas de manejo a seguir debe ser el bajo costo de las obras y las experiencias locales que se tienen en conservación del suelo. Todo ello a fin de obtener un plano de diseño de obras donde se integren prácticas mecánicas, prácticas agronómicas y prácticas vegetativas.

Las prácticas mecánicas son aquellas obras que se realizan con implementos agrícolas, aditamentos especiales o mano de obra y consisten en realizar movimientos de tierra, para disminuir el escurrimiento superficial y reducir la erosión en terrenos con pendiente. La elección de este tipo de prácticas está en función de la clase y uso del suelo, el valor

de los terrenos por proteger y la disponibilidad de recursos económicos. También deben considerarse aspectos operativos y de eficiencia.

3.1. Surcado al contorno

Consiste en realizar el trazo de los surcos y el laboreo del cultivo en forma perpendicular a la pendiente natural del terreno (CP, 1977). Es una práctica con un nivel bajo de inversión inicial. Es recomendable en terrenos con pendientes mayores del 3% y menores de 6%. Cuando la pendiente es mayor es necesario complementarla con otras prácticas mecánicas como las terrazas de formación paulatina. En cuanto a eficiencia se ha evaluado que permite reducir la erosión en 12% (Trueba, 1981). El procedimiento para la localización y trazo del surcado al contorno es el siguiente (CP, 1977):

- En el área de trabajo se localiza la línea de pendiente máxima y se marca con una estaca su punto medio.
- A partir del punto señalado con la estaca inicial se marca la línea guía o curva de nivel por medio de estacas separadas de 15 a 20 metros.
- Posteriormente se trazan los surcos paralelos a la línea guía, hacia arriba y hacia abajo hasta cubrir toda el área.
- En el caso de terrenos poco uniformes deben marcarse dos o más líneas guías de acuerdo al procedimiento descrito.

El surcado al contorno es recomendable para terrenos agrícolas, sin embargo, se puede realizar también, cuando se va a efectuar una resiembra de pastos en tierras con más de 3% de pendiente a fin de promover la infiltración del agua de lluvia y evitar la pérdida de la semilla con el escurrimiento superficial.

3.2. Terrazas de formación sucesiva

Esta práctica es también conocida como terrazas de base angosta o terrazas de formación paulatina (Figura 1); se encuentra en el grupo de prácticas de nivel medio de inversión inicial (Trueba, 1981). Consiste en la construcción de bordos de tierra, entre los cuales se espera se forme una terraza, por el movimiento del suelo que se presenta en cada evento lluvioso donde ocurre escurrimiento y desprendimiento del suelo superficial.



Figura 1. Preparación del terreno (rastreo) realizada antes de la siembra de pastos, en un terreno con terrazas de formación paulatina en el municipio de Moctezuma, S. L. P.

Las terrazas se pueden trazar de dos formas: la primera es “al contorno” de acuerdo al criterio de construcción de la antigua Dirección de Conservación del Suelo y Agua (DGCSA, 1981); o bien modificándolas para hacerlas paralelas entre sí de acuerdo al procedimiento de

construcción que recomienda el Colegio de Postgraduados (CP, 1977); de esta forma se evita la formación de cornejales y se facilitan las labores agrícolas.

Las terrazas de formación sucesiva, son útiles hasta el 15% de pendiente y reducen la erosión en 30% (Trueba,1981). El objetivo de las terrazas de formación sucesiva es el control del escurrimiento superficial en las tierras de cultivo, reteniendo en cada terraza los sedimentos que éste acarrea. Se logra también una mayor retención de humedad, que podrá ser utilizada por los cultivos a establecer en la terraza, obteniendo incrementos en la producción. Puede favorecer las acciones de reforestación o plantaciones de maguey y nopal, cuando se aprovechan los bordos para su establecimiento.

Diseño

La selección del diseño para las terrazas se hace en función del clima y de aspectos operativos y de eficiencia. Para al cálculo del intervalo vertical (IV) entre terrazas se puede utilizar el sistema de espaciamento propuesto por el Colegio de Postgraduados, mediante la siguiente fórmula:

$$IV = ap + b \quad \boxed{\text{Ecuación 6}}$$

Donde: IV = Intervalo vertical

a = Variable que está en función de la precipitación (este valor se obtiene del plano para la constante “a” del Manual de Conservación del Suelo y Agua del CP, 1977). Para la zona del Altiplano Potosino, toma valores de 0.20 a 0.25

p = Pendiente media del terreno

b = Variable que depende de la erosionabilidad del suelo, métodos de cultivo y prácticas de manejo. Su valor se obtiene del Cuadro 5

Con el valor de IV se procede a calcular el IH (intervalo horizontal), cuyo valor representa la distancia entre terrazas sobre el terreno. El IH se obtiene con la siguiente ecuación.

$$IH = IV/P \times 100 \quad \boxed{\text{Ecuación 7}}$$

Donde:

IH = Intervalo horizontal

IV = Intervalo vertical

P = Pendiente media del terreno

Cuadro 5. Valor del coeficiente “b” para calcular el espaciamiento entre terrazas

Valor de “b”	Drenaje interno del suelo	Cubierta vegetal en el período de lluvias intensas
0.30	Lento	Escasa
0.45	Rápido	Escasa
	Lento	Abundante
0.60	Rápido	Abundante

Con los valores de “a” y “b”, y conocida la pendiente media del terreno, se calcula el IV (CP, 1977).

Conocido el espaciamiento de las terrazas su valor se ajusta al ancho de la maquinaria por utilizar, de forma tal que se permita dar un número determinado de vueltas, sin que queden áreas sin laboreo. Para ajustar el intervalo se recurre al Cuadro 6.

Posteriormente se determina la capacidad de almacenamiento de la terraza en litros por metro lineal en base al escurrimiento esperado con la siguiente fórmula:

$$A = E \times Fe \times 10 \quad \boxed{\text{Ecuación 8}}$$

Siendo $Fe = CL$

En donde:

- A = Volumen de almacenamiento de las terrazas (L/m)
- E = Espaciamiento entre terrazas (m)
- Fe = Factor de escurrimiento
- C = Coeficiente de escurrimiento (se estima a partir del Cuadro 4)
- L = Lluvia máx. en 24 horas (cm)
- 10 = Factor de ajuste de unidades

A partir de este valor se seleccionan en el Cuadro 6 las dimensiones del bordo y zona de préstamo, que se debe utilizar en la construcción de las terrazas, de tal manera que se evite su desbordamiento y ruptura.

Ejemplo: Para un terreno con 10% de pendiente en el Altiplano Potosino, con un drenaje lento y una cubierta escasa durante el período de lluvias:

Datos: a = 0.21; p = 10%; b = 0.30

Cuadro 6. Dimensiones y capacidad de almacenamiento de las terrazas de base angosta, cuando el material de préstamo se obtiene de las partes aguas arriba y aguas abajo (cm).

Pendiente %	H	B	H ₁	H ₂	Y ₁	Y ₂	Capacidad de almacenamiento L/m
5	40	80	8	10	200	160	1307
		90	10	10	180	180	1308
		100	10	10	200	200	1309
	45	90	10	12	202	169	1654
		100	12	12	187	187	1655
		110	12	14	206	177	1657
	50	100	12	14	208	179	2042
		110	14	16	196	172	2043
		120	14	16	214	187	2045
10	40	80	8	10	200	160	659
		90	10	12	180	150	660
		100	10	12	200	167	661
	45	90	10	12	202	169	834
		100	12	14	187	161	835
		110	12	14	206	177	837
	50	100	12	14	208	179	1029
		110	14	16	196	172	1031
		120	16	18	187	167	1032
15	45	90	10	12	202	169	560
		100	12	14	187	161	562
		110	14	16	177	155	563
	50	100	12	14	208	179	692
		110	14	16	196	172	693
		120	16	18	187	167	695
	55	110	16	18	189	168	837
		120	18	20	183	165	839
		130	18	20	199	179	841
20	45	90	10	12	202	169	424
		100	12	14	187	161	425
		110	14	16	177	155	427
	50	100	14	16	179	156	523
		110	14	16	196	172	525
		120	16	18	187	167	526
	55	110	16	18	189	168	633
		120	18	20	183	165	635
		130	18	20	199	176	636

FUENTE: CP, 1977 (H = Altura de bordo; B = Base de bordo; H₁= Profundidad de corte aguas arriba; H₂= Profundidad de corte aguas abajo; Y₁= Longitud de corte aguas arriba; Y₂= Longitud de corte aguas abajo; L/m = Litros por metro lineal de bordo).

Obtención de los intervalos

$$\begin{aligned}IV &= ap + b \\IV &= (0.21)(10) + (0.30) \\IV &= 2.4 \text{ m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}IH &= IV/p (100) \\IH &= (2.4/10)100 \\IH &= 24.0 \text{ m}\end{aligned}$$

Determinación del Intervalo ajustado:

$$IH_{aj} = 22.08 \text{ m} \text{ que equivale a 10 vueltas con maquinaria de 3 surcos a 0.92 m}$$

Metros lineales de terraza por hectárea

$$\begin{aligned}m T / ha &= 100 \times 100 / IH_{aj} \\m T / ha &= 452.89\end{aligned}$$

Capacidad de almacenamiento de la terraza en base al escurrimiento esperado:

$$\begin{aligned}\text{Si } Fe &= CL; \\E &= 22.08 \\C &= 0.060 \\L &= 6.73 \\A &= E \times Fe \times 10 \\A &= (22.08)(0.60)(6.73)(10) \\A &= 891.60 \text{ L/m}\end{aligned}$$

Especificaciones de construcción (dimensiones del bordo de la terraza)

Volviendo al Cuadro 6, para una pendiente del 10% se obtiene un bordo con una capacidad de almacenamiento de 1,032 litros por metro lineal, superior a los 891.6 L/m esperados en este diseño, lo cual nos da un margen de seguridad contra ruptura. En la Figura 2 se presentan las características de un diseño "tipo"; el significado de las literales y el valor estimado para cada uno de ellas, se presenta en el Cuadro 7.

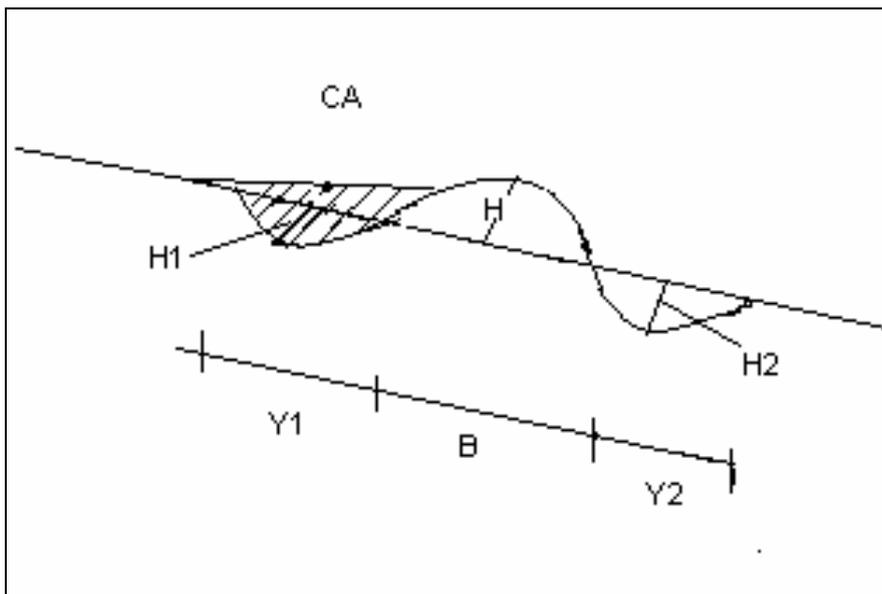


Figura 2. Croquis del diseño de una terraza de formación sucesiva para un terreno con 10% de pendiente, localizado en el Altiplano Potosino, con drenaje lento y cubierta escasa durante el período de lluvias.

Cuadro 7. Especificaciones de construcción (dimensiones del bordo de la terraza) para el ejemplo tipo de la Figura 2

Literal	Significado	Valor estimado
CA	= Capacidad de almacenamiento del bordo	= 1,032 L/m
H	= Altura del bordo	= 0.50 m
B	= Base del bordo	= 1.20 m
H ₁	= Profundidad de corte aguas arriba	= 0.16 m
Y ₁	= Longitud de corte aguas arriba	= 1.87 m
H ₂	= Profundidad de corte aguas abajo	= 0.18 m
Y ₂	= Longitud de corte aguas abajo	= 1.67 m

El procedimiento para la construcción de las terrazas de formación sucesiva es el siguiente:

1. Se hace el levantamiento topográfico del terreno con las curvas a nivel de acuerdo al intervalo horizontal calculado. En el gabinete se ajustan las curvas para hacer las terrazas paralelas entre sí.
2. De acuerdo al plano de curvas a nivel ya ajustadas, éstas se marcan en el campo con cal o con estacas.
3. Se procede al levantamiento del bordo con maquinaria. Esto consiste en la remoción del suelo sobre la curva a nivel ya corregida con arado de discos o con bordero, formando un bordo con una altura de 50 cm. El material de préstamo se toma aguas arriba y aguas abajo con una base de 1.20 m.
4. Afinado de la terraza: consiste en la conformación y semicompactación del bordo para darle forma trapezoidal respetando las alturas de los diseños calculados. Generalmente se le dan 15 cm de corona a los

bordos; el afinado de la terraza se hace con mano de obra.

Cuando se carece de equipo topográfico para realizar los cálculos descritos hasta ahora, las terrazas se pueden trazar con un nivel de manguera, marcando con estacas en el terreno, puntos de igual nivel. En esas condiciones, la distribución recomendable de los bordos en una hectárea es de cuatro, es decir un espaciamiento de 25 m entre bordos. Sin embargo, en suelos que tengan buena capacidad de infiltración y donde la pendiente sea uniforme, este espaciamiento se puede ampliar a hasta 50 m (CONAFOR, 2004).

En caso de que el terreno donde se vayan a construir las terrazas presente arroyuelos y cárcavas, es importante complementar a las terrazas con obras como el cabeceo o protección de la zona donde se inicia la formación de la cárcava y la construcción de presas filtrantes para el control de azolves (Figura 3), así como la revegetación de los taludes para reducir el desprendimiento del suelo.

3.3. Tinas ciegas o zanjas trincheras

Esta práctica consiste en abrir zanjas y bordos en forma discontinua sobre curvas a nivel (Figura 4); tal discontinuidad forma un dique divisor entre zanja y zanja (CP, 1977). Para la construcción de las tinas ciegas se excava en material común o en algunos casos en material del tipo I y II; el material extraído se coloca de aguas abajo de la tina. Esta práctica se realiza generalmente con mano de obra. El sistema recomendado para la ubicación de las tinas, es del tresbolillo, para favorecer la captación del la mayor parte del escurrimiento generado en el terreno.



Figura 3. Cabeceo con piedra acomodada de una cárcava y presas filtrantes para el control de azolves construidas a lo largo de la cárcava pendiente abajo (Fuente: CONAFOR, 2004).



Figura 4. Tinajas ciegas. La tierra extraída se ubica aguas abajo, para que no impida la entrada del agua proveniente del escurrimiento (CONAFOR, 2004).

Los objetivos que se persiguen con este tipo de obras son:

- La recarga de mantos acuíferos.
- Reducir la fuerza del escurrimiento en terrenos con pendientes fuertes.
- La captación de agua de lluvia en cada una de las tinas que puede ser útil para el desarrollo de especies vegetativas.
- Control de sedimentos en las partes altas, para evitar que se azolven vasos de almacenamiento o terrenos de cultivo en la planicie.
- En las zonas de bosque, pueden ser usadas para la siembra de arbolitos en las reforestaciones.

Especificaciones de construcción

En la Figura 5 se presentan las dimensiones recomendadas para la construcción de las tinas ciegas (Loredo, 1986), con las siguientes medidas: largo = 1.0 m; ancho en la base del fondo = 0.40m; altura = 0.6 m; y, ancho superior = 0.7 m.

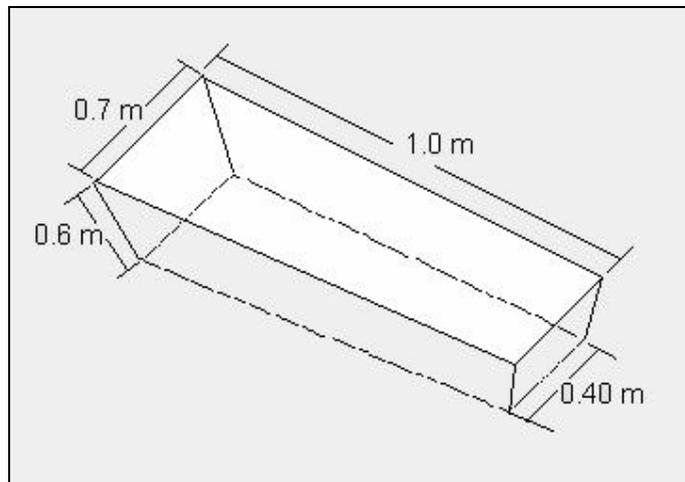


Figura 5: Croquis de una tina ciega

De acuerdo a esta medida el volumen de la tina será de 0.33 m³.

Para tener el control más eficiente del escurrimiento, se recomienda dejar entre tina y tina una distancia de 0.80 m, de tal forma que en una línea de 100 metros se establecerán 55 tinas.

Obtención de los intervalos

El intervalo horizontal entre las líneas donde se construirán las tinas ciegas se obtiene a partir de la siguiente ecuación:

$$IH = \frac{(ap + b)}{p} * 100$$

Donde:

IH = Intervalo Horizontal

a = Variable que está en función de la precipitación.

p = Pendiente media (%)

b = Variable que depende de la erosionabilidad del suelo y de sus prácticas de manejo.

Por ejemplo, suponiendo que en una microcuenca se obtenga un valor de "a" = 0.225 y "b" = 0.3, pero que tenemos dos pendientes (17% y 23%), entonces se obtendrían espaciamientos diferentes para cada condición (Diseño 1 y Diseño 2).

Diseño 1: Pendiente 17%

$$IH = \frac{(ap + b)}{p} * 100 = 24.2$$

Diseño 2: Pendiente 23%

$$IH = 23.8$$

En el diseño 1, se tendrían 4 líneas por hectárea y en el diseño 2, 4.5 líneas.

Si consideramos que en cada línea caben 55 tinas se tendría:

$$\text{Diseño 1: } 4 \times 55 = 220 \text{ tinas/ha}$$

$$\text{Diseño 2: } 4.5 \times 55 = 247 \text{ tinas/ha}$$

Cálculo del volumen excavado:

$$\text{Diseño 1: } 220 \times 0.33 \text{ m}^3 = 73 \text{ m}^3 / \text{ha}$$

$$\text{Diseño 2: } 247 \times 0.33 \text{ m}^3 = 82 \text{ m}^3 / \text{ha}$$

3.4. Dren interceptor

Es un canal colector de aguas broncas para su encauzamiento a velocidades no erosivas hacia zonas acondicionadas para su desalojo, o bien, para su conducción a bordos de almacenamiento. Esta obra se construye en pendientes que varían del 10 al 15% y se ubica en la parte superior al lugar en donde se construirán las terrazas de base angosta, evitando que éstas se rompan a causa de avenidas incontroladas. El dren interceptor distribuye el agua de escurrimiento en forma controlada a cauces bien definidos. Para su diseño se requiere conocer el escurrimiento máximo esperado.

Suponiendo que se quiere construir un dren interceptor para conducir el agua a tierras agrícolas localizadas en la parte baja de la

microcuenca. El terreno que generará el escurrimiento hacia el dren tiene las siguientes características: 42 ha de pastizal en terreno escarpado con textura media y 20 ha de pastizal con textura gruesa:

Se aplica la ecuación 5: $Q = 0.028 CLA$

En este caso "A" representa el área de la microcuenca que generará escurrimientos hacia el dren interceptor y los demás términos ya fueron definidos.

Para estimar el valor de C se consulta el Cuadro 4. Entonces $C = 0.37$, al considerar 42 ha de pastizal en terreno escarpado con textura media y 20 ha de pastizal con textura gruesa.

Aplicando la ecuación 5:

$$Q = 0.028 CLA$$

$$Q = 0.028 \cdot (0.37) \cdot (6.37) \cdot (62)$$

$$Q = 4.33 \text{ m}^3/\text{seg}$$

Diseño del dren

Suponiendo que se desea construir un dren que desaloje un caudal de $4.33 \text{ m}^3/\text{seg}$. Para esto se propone un dren de sección trapezoidal con el siguiente diseño:

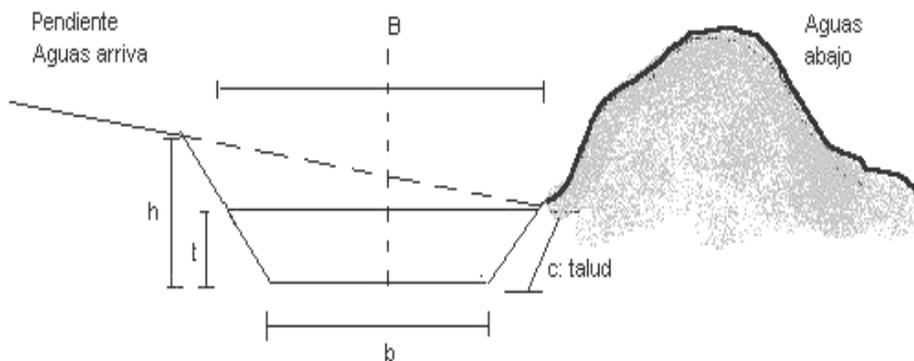


Figura 5. Sección de un dren interceptor

La sección de dicho dren es la siguiente:

$B = 5.0$ m; $b = 2.0$ m; $h = 1.15$ m; $t_0 = 0.95$ m; talud = 1.5:1; $c = 1.7$

Al canal se le da un nivel de 0.3% o sea de 30 cm de desnivel en 100 m

Cálculo de la capacidad del dren:

$$Q = AV$$

Donde:

Q = Caudal (m^3/seg)

A = Area (m^2)

V = Velocidad (m/seg)

Siendo:

$$A = \frac{(B + b)}{2} t_0 = 3.32 \text{ m}^2$$

$$A = \frac{1}{n} r^{2/3} s^{1/2}$$

Donde.

n = Coeficiente de rugosidad; en este caso es de 0.03 que corresponde a canales de tierra(adimensional)

r = Radio hidráulico A / P

Siendo A = área del trapecio (m²)

P = Perímetro mojado (m)

$$P = 1.7 * 2 + 2$$

$$P = 5.4 \text{ m}$$

Entonces:

$$r = 3.32/5.4 = 0.614$$

$$s = 0.3\% \text{ (Pendiente = 0.003)}$$

Así se tiene que:

$$V = \left(\frac{1}{0.03} \right) (0.614)^{2/3} (0.003)^{1/2}$$

$$V = 1.319 \text{ m/seg}$$

Sustituyendo:

$$Q = (1.319 \text{ m/seg}) (3.32 \text{ m}^2)$$

$$Q = 4.38 \text{ m}^3/\text{seg}$$

Este valor es superior al gasto esperado ($Q = 4.33 \text{ m}^3 / \text{seg}$) por lo que se considera adecuado para desalojar el caudal. En caso contrario, sería necesario modificar alguna de las medidas y volver a realizar los cálculos.

4. CONSIDERACIONES FINALES

Las prácticas agronómicas y vegetativas, tales como la aplicación de materia orgánica, la labranza de conservación, la rotación de cultivos, el uso de coberteras y el aumento en la rugosidad superficial, favorecen la resistencia del suelo a ser erosionado y reducen la energía del impacto de las gotas de lluvia sobre el terreno, es decir protegen al suelo del proceso erosivo. Las prácticas mecánicas generalmente se realizan para el control del escurrimiento superficial en terrenos con pendiente. El control satisfactorio de la erosión se puede lograr a través del manejo combinado de las prácticas agronómicas y vegetativas, complementadas con prácticas mecánicas.

En general, las prácticas mecánicas y recomendaciones presentadas en este capítulo, tienen aplicación al ámbito de las zonas semiáridas del Altiplano, sin embargo, corresponden a “diseños tipo”, que deben ajustarse de acuerdo a las condiciones específicas de cada terreno en donde se vayan a construir.

Es importante reconocer que cualquier medida o práctica propuesta en los proyectos de conservación del suelo, además de mantener la productividad del suelo a través del tiempo, debe promover mejores condiciones de vida para los productores, para que puedan ser aceptadas y adoptadas por ellos.

5. LITERATURA CITADA

1. Beltrán, L. S. 1988. Infiltración y producción de sedimentos en tres tipos de vegetación del del Rancho Los Angeles. Tesis de Maestría. UAAAN. Saltillo, Coah. México. 94 p.
2. Bifano, B. R. 1983. Antecedentes de la Promulgación de la Ley de Conservación del Suelo y Agua de 1946. Terra: 1 (1): 15-23.
3. Brooks, K.N., Ffolliot, P. F., Gregersen H. M. and Thames J. L. 1991. Hydrology and the Management of Watersheds. Iowa State University Press/Ames. 392 p.
4. Campos, A. V. 1992. Procesos del ciclo hidrológico. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. 2ª. Reimpresión. San Luis Potosí, México.
5. Candia, C. U. 2004. Promoción para la organización de productores. Memorias del Curso-Taller "Manejo Integrado de recursos con Enfoque de Microcuenca". Junio de 2004. San Luis Potosí, S.L.P.
6. Comisión Nacional de las Zonas Aridas (CONAZA). 1993. Plan Nacional para combatir la Desertificación.
7. Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). 2004. Protección, restauración y conservación de suelos forestales. Manual de obras y prácticas. 210 p.
8. Colegio de Postgraduados de Chapingo. 1977. Manual de Conservación del Suelo y Agua. Instructivo. SARH-SPP. Chapingo, México. 248 p.
9. Dirección General de Conservación del Suelo y Agua (DGCSA). 1981. Metodología del Expediente Técnico Unitario. SARH. México, D.F. 122 p.
10. Figueroa, S. B. 1975. Pérdidas de suelo y nutrimentos y su relación con el uso del suelo en la cuenca del río Texcoco. Tesis de maestría. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.
11. Figueroa, S. B., Amante O. A., Cortés T. H. G., Pimentel L. J., Osuna C. E., Rodríguez O. J. M., Morales F. F. J. 1991. Manual de predicción de pérdidas de suelo por erosión. SARH. México. 150 p.
12. Foth, H. D. y Turk, L. M. 1975. Fundamentos de la ciencia del suelo. Ed. Continental, S. A. México, D. F. 527 p.
13. García, L., R. 1983. Diagnóstico sobre el estado actual de la erosión en México. Terra: 1 (1): 11-14.
14. Kirkby, M.J. 1980. El Problema. In: M.J. Kirkby y R.P.C. Morgan. Erosión del

- suelo. John Wiley & Sons. Ltd., pp 1-16.
15. Kirkby, M.J. y R.P.C. Morgan. 1984. Erosión del suelo. John Wiley & Sons. Ltd., 286 p
 16. Loredó, O.,C. 1986. Técnicas para el control de la erosión hídrica en la Cuenca de la Laguna de Tecocomulco. Tesis de Licenciatura. Escuela de Agronomía de la UASLP. 119 p.
 17. Loredó, O. C. 1994. Efecto de la reforestación en el control de la erosión hídrica. Tesis de Maestría en Suelos. UAAAN.
 18. Loredó, O. C., S. Beltrán L. y G. Vázquez U. 2000. Producción de sedimentos en una pradera de pasto buffel (*Cenchrus ciliaris*) en el Altiplano Potosino. In: Quintero L.,R., T. Reyna T., L. Corlay Ch., A. Ibáñez H. y N. García C. Eds. La edafología y sus perspectivas al siglo XXI. Tomo I. p 181-185.
 19. Ostle B. 1981. Estadística Aplicada. Editorial LIMUSA. 7a reimpresión; 1a edición. 529 p.
 20. Martínez, M., M. 1983. Perspectivas técnicas sobre la conservación y productividad de los suelos en México. Terra: 1 (1): 24-30.
 21. Ríos, B., J. D. 1987. Efecto de la cobertura vegetal en el proceso erosivo. Tesis Maestría. Centro de Edafología. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México. 226 p
 22. Schamab, G.O., Frevert R. K., Edminster F. y Barnes K. K. 1990. Ingeniería de conservación de suelo y agua. Editorial LIMUSA. Pp.67-70. 113-121.
 23. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH). 1986. Inventario Nacional de Tierras Erosionadas. DGCSA. México, D.F.
 24. Trueba, C., A. 1981. Evaluación de la eficiencia de cuatro prácticas mecánicas para reducir las pérdidas de suelo y nutrimentos por erosión hídrica en terrenos agrícolas de temporal. DGCSA-SARH. México. 162 p.
 25. Trueba, C., A. 1995. Estudios de erosión actual y permisible. In: Evaluación de tierras para una agricultura sostenible en México. 1ª. Ed. Chapingo, México. P 59-63.
 26. Wischmeier, W. H. and Smith D.D. 1965. Predicting Rainfall-Erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains. Agricultural Handbook No. 282, ARS-USDA, Washington, D.C.

CAPTACION DE AGUA DE LLUVIA

**Eusebio Jr. Ventura Ramos¹; Jorge A. Acosta Gallegos²,
Miguel A. Domínguez C.¹ y Keith Ward³**

1. INTRODUCCION

En el mundo, existen ochocientos millones de personas que tienen inseguridad alimentaria. Se estima que en los países en desarrollo, hay 166 millones de niños en edad pre-escolar con nutrición deficiente, por lo cual es un gran desafío producir suficiente comida y generar un ingreso adecuado en el mundo en desarrollo para alimentar mejor a los pobres y reducir el número de aquellos que sufren (Rosegrant *et al.*, 2002). Este desafío se intensificará, si se considera que la población global proyectada para el 2025 es de 7,800 millones de personas, con lo que se pondrá una presión aún mayor a la seguridad alimentaria mundial, especialmente en países en desarrollo donde se espera que ocurra más del 80% del incremento de la población.

México no es la excepción a esta problemática. De acuerdo con los resultados del XII Censo General de Población y Vivienda (INEGI, 2000), en febrero del 2000, residían en la República Mexicana un total de 97'483,412 personas, cifra con la que el país se mantenía en la undécima posición entre las naciones más pobladas del mundo. Aún cuando la tasa de crecimiento de la población ha disminuido paulatinamente en casi la mitad, desde 1970 a la fecha, la población total se ha incrementado en casi un 100% durante el mismo periodo (Figura 1). Esta población tiene necesidades básicas de alimentos y fibras que provienen de la agricultura.

¹ Profesor-investigador. División de Postgrado-Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Querétaro; eventura@uaq.mx

² Investigador Titular. Campo Experimental Bajío INIFAP, Celaya, Gto.; mijosano@prodigy.net.mx

³ Sustainable Agricultural Technologies, Corydon, Indiana; USA ; tokjw@aol.com

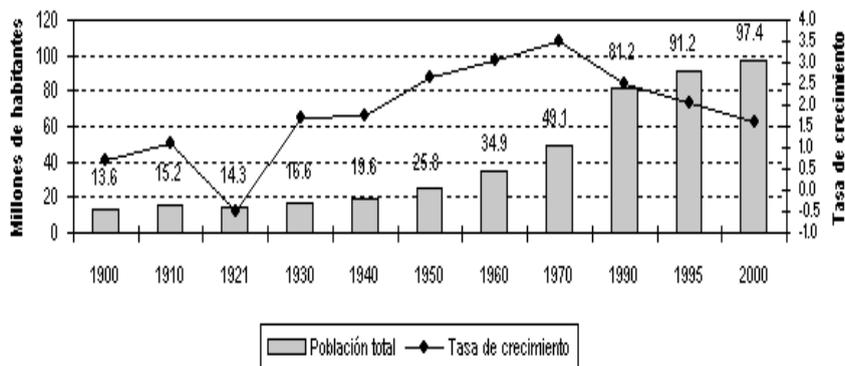


Figura 1. Evolución de la población en México durante el periodo del 1900 al 2000.
8

La agricultura de riego ha contribuido en forma importante a la producción de alimentos a nivel mundial desde 1960 y se espera que siga jugando ese papel. Sin embargo, es importante también mencionar que la irrigación es responsable del 72% de las extracciones de agua a nivel global y que 90% se realiza en países en desarrollo (Kaufman y Franz, 2000).

La disponibilidad del agua se ha reducido en muchas regiones a favor de usos no agrícolas tales como el uso industrial y doméstico, así como para propósitos ambientales. Un ejemplo típico de esta tendencia es la distribución en el uso del agua en el Valle de Querétaro, México, donde actualmente el uso del agua del acuífero corresponde al 63.7% para uso doméstico, mientras que la agricultura utiliza 28.5%, la industria 7.2% y el resto 0.5% se usa como abrevadero para ganado (CQRN, 2003).

En relación al ambiente, también se ha puesto mucha presión sobre el uso del agua; por ejemplo, en la Cuenca Lerma-Chapala que incluye a varios estados de la República Mexicana, se desarrollaron acuerdos para su manejo sustentable, entre los cuales se decidió trasvasar volúmenes retenidos en presas para evitar el secamiento de la Laguna de Chapala, el

mayor cuerpo de agua en el país. Esto originó perjuicios a los agricultores de regiones importantes como El Bajío donde la superficie de riego se redujo a consecuencia de esta política.

Dada esta preocupación por la escasez del agua para la irrigación, el papel del manejo del agua, las inversiones en agricultura de riego y la seguridad alimentaria han recibido atención substancial en años recientes (Hofwegen y Svendsen 2000; Rosegrant, 1997).

Por otro lado, las áreas de temporal en el mundo contribuyen con el 58% de la producción mundial de alimentos (Rosegrant *et al.*, 2002), y no se ha puesto la atención suficiente en el potencial de estas regiones y el papel que podrían jugar en el cumplimiento de la demanda de alimentos. Considerando la superficie cultivada de maíz a nivel mundial, el 82% se siembra en temporal y sólo el 18% restante en condiciones de riego; otros cultivos sembrados en condiciones de temporal son 40% de la superficie sembrada de arroz, 66% del trigo, y 82% de otros granos; en promedio, el 69% de la superficie cultivada con cereales, se establece en condiciones de temporal. Sin embargo, el rendimiento de cereales a nivel mundial es de alrededor de 2.2 ton/ha, que corresponde aproximadamente al 65% del rendimiento obtenido en condiciones de riego (3.5 ton/ha). En general, se menciona que más del 80% del área de producción de cereales en los países en desarrollo es de temporal.

Para compensar la escasez del agua para riego y reducir la sobreexplotación del agua subterránea, es importante que la agricultura de temporal contribuya en forma significativa al suministro de alimentos. Sin embargo, es importante que la producción de alimentos aumente como resultado del incremento de los rendimientos y no como resultado de una mayor expansión de la frontera agrícola, ya que esto puede desarrollar áreas marginales, pérdida de biodiversidad, problemas de plagas, y sobre todo problemas de erosión de los suelos. Muchas de las áreas marginales

en las que se expande la agricultura en países en desarrollo incluyen laderas y zonas áridas donde la erosión de los suelos es un problema preocupante.

Existen tres formas de aumentar el rendimiento: i) incrementar el uso eficiente del agua de lluvia mediante un mejoramiento de las técnicas de manejo del agua, particularmente la captación del agua de lluvia; ii) incrementar el rendimiento de los cultivos mediante la investigación agrícola, y iii) reformar la políticas e incrementar las inversiones en las áreas de temporal.

En este capítulo se pretende hacer una contribución al conocimiento de nuevas técnicas de captación y manejo del agua de lluvia en zonas de temporal, especialmente las regiones áridas y semiáridas, donde, aunado a la situación antes mencionada, el carácter torrencial de las lluvias con su alta intensidad y poca duración sobre terrenos agrícolas degradados ocasiona fuertes volúmenes de escurrimiento y problemas de erosión que disminuyen la cantidad de agua disponible para las plantas y reducen la productividad de los terrenos.

2. LAS ZONAS ARIDAS Y SEMIARIDAS DE MEXICO

México se encuentra situado en el norte del Continente Americano, justo en la franja latitudinal del hemisferio donde se localizan los principales desiertos del mundo (Tijerina *et al.*, 2001); por lo tanto, no es la excepción a esta condición climática donde las precipitaciones son poco frecuentes, torrenciales y mal distribuidas durante el año.

El terreno del país es muy accidentado, con una gran cantidad de montañas, planicies, valles y altiplanos. Debido a su latitud y a su topografía, México cuenta con una gran diversidad de climas, desde los cálidos con temperaturas medias anuales mayores a 26°C, hasta los fríos con temperaturas menores a 10°C. El 93% del territorio nacional presenta

temperaturas que oscilan entre los 10°C y 26°C. Los climas cálidos-subhúmedos representan 23% del territorio nacional, los secos 28% y los muy secos 21%, mientras que los templados-subhúmedos ocupan el 21% (INEGI, 2004).

En todas esas condiciones, la evapotranspiración es significativa y en condiciones de agricultura de temporal los cultivos sufren de déficit hídrico para completar su desarrollo y producción. La precipitación promedio anual de México es de 772 mm anuales (Cuadro 1).

Cuadro 1. Precipitación promedio anual por estados en México para el período de 1941 a 1998

Entidad federativa	Precipitación (mm)	Entidad federativa	Precipitación (mm)
Aguascalientes	452	Morelos	866
Baja California	205	Nayarit	1,049
Baja California Sur	178	Nuevo León	597
Campeche	1,124	Oaxaca	1,502
Coahuila	314	Puebla	1,223
Colima	884	Querétaro	567
Chiapas	1,963	Quintana Roo	1,235
Chihuahua	429	San Luis Potosí	971
Distrito Federal	715	Sinaloa	794
Durango	517	Sonora	433
Guanajuato	594	Tabasco	2,430
Guerrero	1,120	Tamaulipas	766
Hidalgo	822	Tlaxcala	707
Jalisco	831	Veracruz	1,455
México	907	Yucatán	1,105
Michoacán	804	Zacatecas	512
		Nacional	772

Fuente: Comisión Nacional del Agua, Compendio Básico del Agua en México, CNA, Semarnap, México, 1999

Sin embargo, en las regiones semiáridas, este valor raramente supera los 500 mm por lo que existe el imperativo de su captación y

conservación para la producción de cultivos en agricultura de temporal. Además, el problema del agua en México no es solamente el bajo promedio de la precipitación en la mayor parte del territorio, sino una distribución desuniforme del recurso, ya que en algunos estados del Norte pueden llover menos de 100 mm mientras que en el Sureste, llegan a llover más de 3,000 mm.

En asociación a las condiciones climáticas, las zonas áridas y semiáridas del país se localizan predominantemente en el Noroeste, Norte y Centro del país, donde se concentra el 84% del PIB y el 77% de la población. En estas zonas se localiza el 92% de las zonas agrícolas irrigadas, pero solamente cuenta con el 28% del agua del país. El sureste, por su parte, congrega el 16% del PIB y el 23% de la población; ahí solo el 8% de las tierras agrícolas son irrigadas, pero cuentan con el 72% del total nacional de agua (Millán, 2001).

Por lo anterior, es urgente establecer una política para utilizar el agua racionalmente, no utilizar más agua de la requerida, pero sobre todo, no explotar el agua que la naturaleza ya no puede renovar. El enfoque en las zonas de temporal es producir más haciendo un uso más eficiente del agua de lluvia. Esto aliviará la presión que se tiene sobre la agricultura de riego, con la consecuente reducción de los volúmenes de extracción y de los gastos económicos e implicaciones ambientales asociadas.

3. CAPTACION DE AGUA DE LLUVIA

Los sistemas de captación y el aprovechamiento del agua de lluvia han sido, son, y serán la base para el desarrollo sostenible de los recursos naturales y el bienestar de la humanidad (Anaya, 2002). Tradicionalmente, la **Captación del Agua de Lluvia** incluye la concentración y colección de la lluvia en una superficie mayor para concentrarla en un área pequeña de cultivo. El escurrimiento puede ser vertido directamente o distribuido en los campos o colectado para su uso posterior. Las técnicas de captación del

agua de lluvia incluyen: **Sistemas de Captación Externos**, **Sistemas de Microcaptación o Captación “In Situ”** y **Sistemas de Colección de Esguerrimiento en Techos**. Este último es sobre todo utilizado para propósitos no agrícolas.

Los **Sistemas de Captación Externos** involucran la colección de agua desde un área grande a una distancia substancialmente lejana del área donde se desarrollará el cultivo. Los tipos de sistemas de captación externa incluyen la **Agricultura de Escurrientías**, o lo que se conoce como **Manejo de Escurrimientos Superficiales** (Anaya, 2002). Este involucra la colección del escurrimiento de áreas de laderas en áreas planas, y la cosecha de aguas de inundación dentro de los cauces de corrientes utilizando barreras para desviar el flujo hacia un área adyacente, de manera que se incrementan los volúmenes de agua en el terreno cultivado y el agua infiltrada en el suelo.

El manejo de los escurrimientos superficiales tiene como objetivo suministrar agua adicional a los cultivos con técnicas de riego por inundación o avenidas, a veces conocido como “derramaderos” y se aplica en valles y en laderas de las regiones áridas y semiáridas de México (Anaya, 2002). Con estas tecnologías se reducen los efectos de la sequía y permiten asegurar la producción de alimentos, elevar el nivel de vida y mejorar el entorno ecológico. En estas tecnologías, los aspectos técnicos susceptibles de mejoramiento pueden agruparse en los siguientes rubros:

1. Diseño de las estructuras de toma, conducción y manejo de los escurrimientos a la parcela.
2. Mejoramiento del manejo de suelos y cultivos en la parcela que recibe los volúmenes escurridos.
3. Manejo de las áreas de captación.

4. Incremento de la productividad de la mano de obra mediante esquemas de mecanización adecuados a unidades de tamaño pequeño y de capital limitado.
5. Integración de actividades frutícolas, hortícolas y ganaderas, dando especial atención a la autosuficiencia en agua, granos básicos y forrajes.
6. Organización de los productores en torno a las obras del manejo colectivo, en la compra de insumos y comercialización de productos.

El diseño de las técnicas de captación de agua de lluvia se refiere a obras de derivación que se utilizan en forma tradicional y se refieren a lo siguiente: bordos de piedra, bordos de mampostería, zanjas de derivación, presas derivadoras y diques filtrantes de piedra. Estas obras requieren de mantenimiento. Su costo varía en función del grado de complejidad de las estructuras y de los materiales que se utilicen (tierra, piedra y concreto). Considerando periodos de siete a diez años, las ganancias son satisfactorias ya que se pueden obtener relaciones costo beneficio de uno a dos y de uno a tres, dependiendo del tipo de cultivo. Sin embargo, los sistemas de comercialización de los diversos productos siguen representando un riesgo para los productores, ya que no hay seguridad permanente para lograr buenos precios.

Las técnicas de derivación y distribución de torrentes en las zonas áridas y semiáridas conllevan a sistemas de producción sostenibles, ya que estas obras implican la conservación de suelos, el incremento de la fertilidad del suelo, una mejor utilización del agua de lluvia y una mayor producción de cultivos, lo que permite mejorar el nivel de vida de los productores y mejorar el ambiente.

Los **Sistemas de Microcaptación o Captación In Situ** del agua de lluvia son aquellos en los que el área de captación y el área de cultivo están adyacentes pero diferenciadas. Algunas de las técnicas de captación

incluyen barreras semicirculares o al contorno y otros sistemas en los cuales el área de cultivo está inmediatamente abajo del área de captación, la cual se ha limpiado de vegetación para incrementar el escurrimiento.

Anaya (2002) apoya esta definición al mencionar que los sistemas de microcaptación de agua de lluvia para cultivos anuales y perennes se conocen también como sistemas de captación *in situ*, y que para su establecimiento es necesario obtener información sobre la cantidad y distribución de la lluvia en el año, la capacidad de almacenamiento de agua en el perfil del suelo, las necesidades hídricas del cultivo a explotar y considerar los recursos con que se cuenta para establecer el sistema de captación *in situ* que mejor se adapte a las condiciones del área de trabajo.

En el Colegio de Postgraduados se han desarrollado sistemas de microcaptación de agua de lluvia cuyos objetivos son: 1). Prevenir y hacer reversible el proceso de degradación originado por la erosión hídrica, 2) Aumentar la eficiencia del uso del agua de lluvia, 3) Reducir el riesgo de pérdida de cosecha por efecto de la sequía, y 4) Incrementar la productividad y el bienestar social (Tovar y Anaya, 2002).

Sin embargo, la mayoría de los sistemas de captación incluyen arados con vertederas y diseños modificados para destinar un área del terreno a la captación del agua de lluvia y otra para el crecimiento del cultivo. Se manejan sistemas desde la construcción de camellones con un arado bordeador, cuya altura es de 40 a 60 cm con una distancia entre el parteaguas de uno y otro de 100 a 130 cm. En algunas ocasiones se pueden hacer barreras o contras en los surcos para retener el agua (Figura 2). Otros sistemas como el arado XOLOX, diseñado por Tovar y Anaya (2002) hace surcos modificados de entre 110 y 140 cm. El área destinada a la captación del agua de lluvia en los terrenos es significativa (Figura 3).

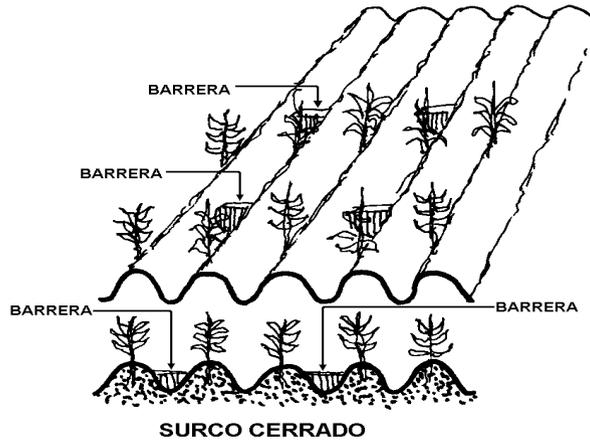


Figura 2. Sistema de captación de agua de lluvia en camellones con barreras.

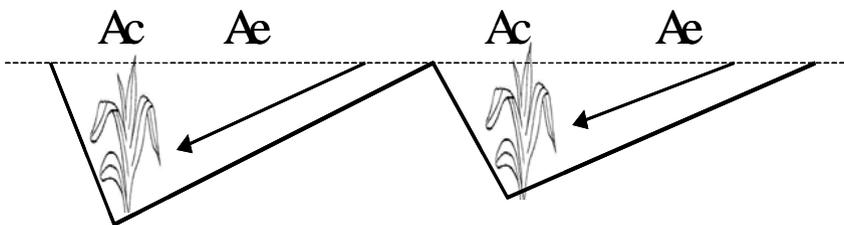


Figura 3. Sistemas de microcaptación que incluye un área de escurrimiento (Ae) y un área de cultivo (Ac). La distancia entre cresta y cresta del surco puede ser hasta de 1.40 m.

4. SISTEMA DE LABRANZA DE RESERVA

El concepto de captación “*in situ*” en los sistemas considerados con anterioridad, solamente obedece a la condición de que la captación se realiza en los terrenos de cultivo. Sin embargo, de acuerdo a la configuración, existe una superficie considerable destinada a la captación, la cual una vez cumplida su función se encuentra desprotegida y sujeta a procesos de evaporación (González *et al.*, 2003). La configuración misma de los surcos crean un canal, en donde, si la infiltración del agua no es rápida y existe una pendiente longitudinal en el surco, el flujo de agua se concentraría y los esfuerzos hidráulicos de corte causarían problemas serios de erosión en surcos (Nearing *et al.*, 1990) a menos que se combine con sistemas de surcado al contorno, lo cual reduciría este efecto.

En todo caso, la verdadera captación “*in situ*” del agua de lluvia probablemente esté estrictamente representada por un Sistema de Captación *In Situ* del Agua de Lluvia que está definido dentro de la categoría de **Sistemas de Labranza de Reserva** (RTS, por sus siglas en Inglés), un nuevo concepto que fue desarrollado bajo la consideración de que la labranza puede proveer niveles crecientes de almacenamiento superficial, lo cual se convierte en uno de los medios más efectivos de controlar tanto la erosión como el escurrimiento superficial.

La *Labranza de Reserva* crea microcuencas u oquedades que retienen el agua de lluvia en el lugar, aumentando el tiempo para que ésta se infiltre en el suelo y de esta manera prevenir la erosión. Hansen y Trimmer (1997) reportan que estas microcuencas o reservorios son creados con maquinaria de labranza especializada disponible comercialmente. Los reservorios captan y almacenan el agua en el lugar hasta que se infiltra en el suelo. Los mismos autores reportan dos métodos comúnmente usados para construir los reservorios: Un método consiste en hacer agujeros o depresiones en el terreno de 15 a 25 cm de diámetro y de 15 a 20 cm de

profundidad espaciados unos 60 cm de centro a centro. El otro método consiste en construir pequeñas represas de tierra o diques con una herramienta que recoge y acarrea el suelo a lo largo del surco. La herramienta deja las represas a intervalos establecidos creando pequeñas presas en el surco que retienen el agua. El agua retenida se infiltra posteriormente en el suelo.

4.1. El sistema “Aqueel” de captación de agua de lluvia

El Sistema de captación de agua de lluvia “Aqueel” es probablemente el sistema más representativo de la captación “in situ” del agua de lluvia en el sentido estricto de la palabra. El principio del sistema es la creación de microreservorios en la superficie del suelo para la captación del agua con una herramienta que imprime huellas en el suelo sin que cause compactación durante el proceso (Ventura *et al.*, 2003). Esto involucra por un lado el diseño geométrico de una rueda dentada, y por otro lado, la utilización de un material que solamente consolide al suelo sin compactarlo, que sea resistente a la abrasión y al corte y que no permita la adhesión del suelo húmedo.

La cristalización de esta idea es el Rodillo Aqueel, que está formado esencialmente por varias ruedas dentadas conocidas comercialmente como la Rueda Aqueel®. La rueda Aqueel® (Figura 4), originalmente inventada por un agricultor de papas del Reino Unido, es el nombre comercial de un medio único para la creación de indentaciones en la superficie del suelo suelto. Las indentaciones forman pequeños reservorios con capacidad para el almacenamiento de hasta un litro del agua de lluvia, lo que significa que el agua puede permanecer en el terreno por un periodo de tiempo más largo. Esto a su vez permite un mayor tiempo para que el agua se infiltre, es decir, el agua no escurre a los puntos bajos del terreno y se reduce considerablemente la erosión.

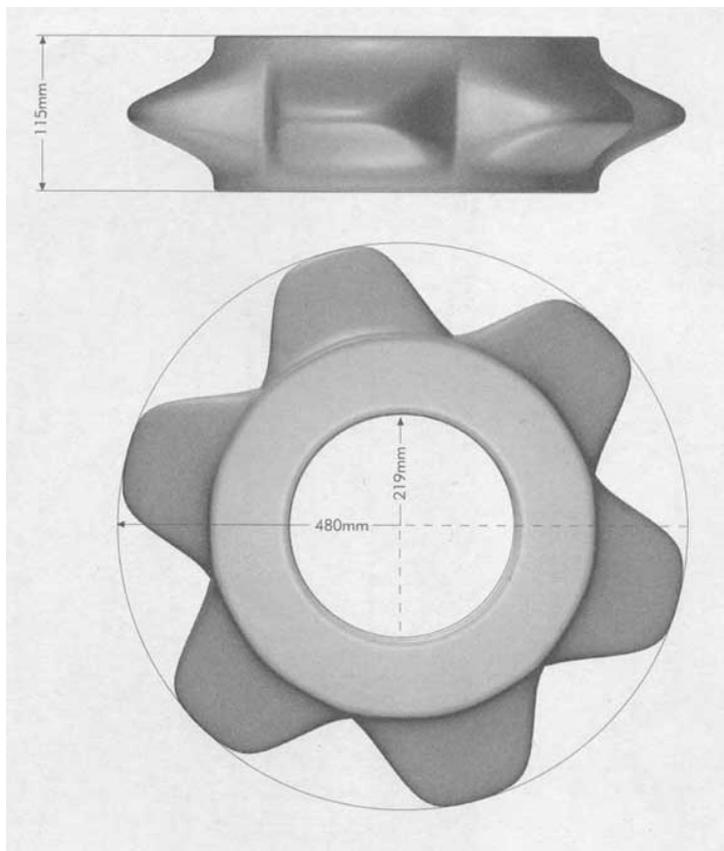


Figura 4. Dimensiones de la Rueda Aqueel®.

La rueda se puede usar individualmente o agruparse en un rodillo continuo del tamaño del implemento al que se va a adicionar, lo que permite la impresión de las indentaciones en forma homogénea en el terreno y en consecuencia, la distribución de la humedad también es uniforme. El paso de las ruedas Aqueel sobre el terreno consolida el suelo, no lo compacta, con esto, se logra un mejor contacto suelo-semilla en la siembra y los procesos de germinación y nacencia son más uniformes.

La rueda Aqueel es un aditamento, no un implemento, por lo que puede adaptarse a cualquier implemento una vez que se conocen las dimensiones y diseño de los implementos de los cuales disponga el agricultor. El concepto de la rueda consiste en aplicar una presión en el suelo suelto para formar minireservorios entre las hileras del cultivo o en la superficie de camas de siembra. La superficie interna de los reservorios se consolida de tal manera que el agua se retiene por más tiempo dando oportunidad a la infiltración en el suelo con lo que ofrece a la zona de raíces humedad suficiente para un período considerable de tiempo.

Cada indentación tiene el potencial de almacenar aproximadamente 1 litro de agua (Figura 5). Si se considera que la rueda Aqueel puede producir alrededor de 190,000 indentaciones por hectárea, esto significa que puede retener toda el agua de lluvia de una tormenta de 20 mm h^{-1} aún cuando no exista infiltración. La rueda Aqueel está hecha de un material único elastomérico de poliuretano microcelular, el cual es autolimpiable, de larga duración y con una excelente resistencia a la abrasión, lo cual la hace trabajar en terrenos con pedregosidad sin ningún problema. Se pueden señalar las siguientes características de la rueda Aqueel:

- Es la primera rueda autolimpiable en el mercado agrícola.
- Combinada en un rodillo es liviana, por lo que requiere menos potencia para su operación.
- Se puede integrar en una gran variedad de implementos.
- Es ambientalmente amigable y reduce los efectos de la erosión hídrica y eólica.
- Permite un calentamiento más rápido del suelo acelerando la germinación.
- Reduce el potencial de sellamiento en suelos ligeros y arenosos.

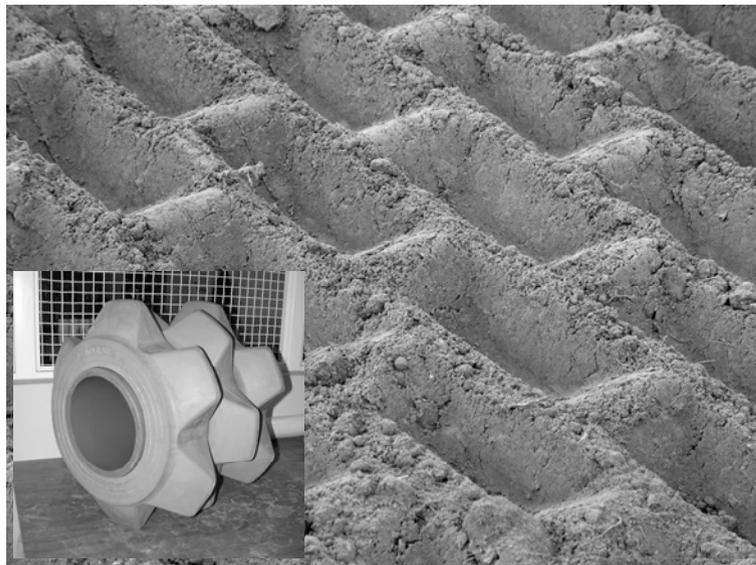


Figura 5. Rueda Aqueel® (recuadro pequeño) y muestra de la impresión final en una parcela agrícola

4.2. Investigación relacionada con la Rueda Aqueel

Los estudios para probar la efectividad de la rueda Aqueel en suelos Vertisoles de la región semiárida central de México fueron iniciados por Ventura *et al.* (2003). Bajo condiciones de lluvia natural, en pendientes alrededor del 7%, las indentaciones fueron destruidas por una tormenta con una intensidad máxima de $100 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ cuando estas fueron realizadas pendiente abajo. Resultados similares fueron observados en un estudio de laboratorio después de una hora de lluvia con una pendiente del 9% con lluvia simulada y una intensidad de $70 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$. El beneficio de la rueda Aqueel en condiciones de pendientes e intensidades de lluvia fuertes, solamente se pudo observar durante los primeros 30 minutos de lluvia, tal como se observa en las Figuras 6 y 7. La línea del escurrimiento superficial

correspondiente a la parcela tratada con la rueda Aqueel estuvo por debajo de la línea correspondiente al tratamiento testigo durante los primeros 30 minutos, lo que indicó una mayor infiltración por efecto de la rueda. Sin embargo, para condiciones de flujo estable, las diferencias entre el tratamiento con la rueda Aqueel y el testigo no fueron estadísticamente significativas (Figura 6).

Cuando las impresiones se realizaron en sentido perpendicular a la pendiente, simulando un surcado en contorno, el efecto de la rueda Aqueel en la reducción del escurrimiento superficial para una intensidad de lluvia constante de 70 mm.h^{-1} fue significativo en comparación con el testigo (Figura 7). En el tratamiento testigo el escurrimiento comenzó a los 15 minutos de iniciada la simulación de la lluvia, mientras que en el tratamiento con la rueda Aqueel el tiempo correspondiente fue de 35 minutos; en ambos casos la prueba se realizó en un suelo seco al aire.

La disposición perpendicular de las impresiones creó una resistencia mayor al flujo debido a que el borde mayor de los minireservorios quedó a contrapendiente y no fue fácil de romper. En el caso de la disposición pendiente abajo el rompimiento del borde menor fue notorio y al interconectarse las impresiones formaron pequeños canalillos, lo que aceleró el escurrimiento y la erosión. Esto significa que para las condiciones de pendiente y humedad de suelo estudiadas, el sistema Aqueel prácticamente elimina el escurrimiento en tormentas de 70 mm.h^{-1} cuando las impresiones se realizan en sentido perpendicular a la pendiente del terreno.

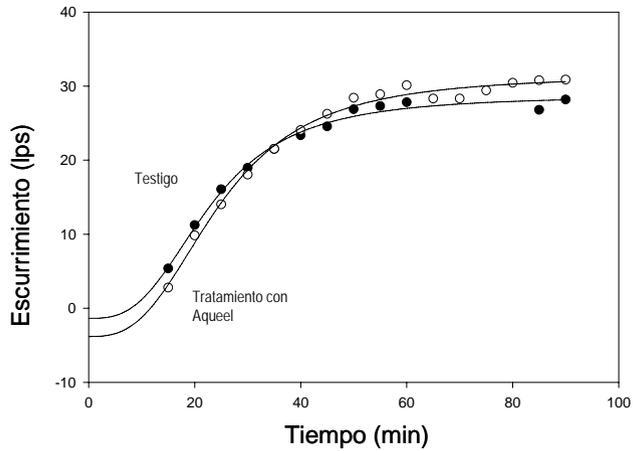


Figura 6. Ecurrimiento superficial en una parcela testigo y una tratada con la rueda Aqueel con indentaciones en el sentido de la pendiente bajo lluvia simulada a una intensidad de 70 mm h^{-1} durante 1.5 horas.

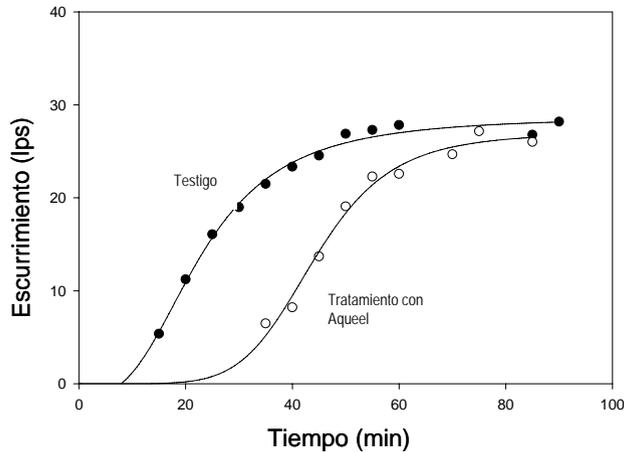


Figura 7. Ecurrimiento superficial en una parcela testigo y una tratada con la rueda Aqueel con indentaciones en el sentido perpendicular a la pendiente, bajo lluvia simulada a una intensidad de 70 mm h^{-1} durante 1.5 horas.

En general, se puede señalar que el Aqueel es un sistema de labranza de reserva amigable con el medio, el cual crea indentaciones en la superficie del suelo, incrementando la infiltración y reduciendo la erosión y los problemas de contaminación que causa este último proceso. La rueda Aqueel se manufactura con un material único de propiedades elastoméricas de autolimpieza, de tal manera que se elimina la necesidad de un sistema limpiador de las ruedas.

Los beneficios de la rueda Aqueel se pueden resumir como sigue:

- Aumenta la Infiltración del agua en el suelo.
- Reduce los riesgos de erosión y escurrimiento superficial.
- El incremento de la rugosidad superficial protege al suelo contra la erosión eólica en tiempos de poca humedad superficial en el suelo.
- Incrementa el uso eficiente del agua.
- Favorece la germinación al mejorar el contacto suelo-semilla.
- Es un aditamento, no un implemento, relativamente barato.
- Es un aditamento versátil de fácil adaptación a los implementos ya existentes.
- No requiere de un cambio drástico en las labores tradicionales del agricultor.

4.3. Aplicaciones de la rueda “Aqueel”

En sistemas de irrigación. En sistemas de riego, especialmente por aspersión, la rueda Aqueel reduce la pérdida de agua del área de cultivo (melgas, camas de siembra, hileras, etc.), minimizando la pérdida de nutrientes en el escurrimiento. El agua de riego se distribuye uniformemente y se evitan problemas de encharcamientos locales lo cual reduce el efecto de enfermedades a los cultivos por los excesos de humedad (Figura 8).



Figura 8. Aplicación de la rueda Aqueel en un sistema de riego por aspersión.

En la preparación de los terrenos y siembra. El rodillo formado con ruedas Aqueel puede ser acondicionado a implementos de labranza primaria eliminando la necesidad de labranza secundaria. En un ejemplo práctico, un rodillo Aqueel adaptado a un arado de discos eliminaría la necesidad del paso de rastra. En algunas situaciones, el arado de discos puede no ser considerado en el plan de labranza. En este caso, la rueda Aqueel puede adaptarse a arados de cinceles o subsuelos en la parte trasera, de tal manera que se forma una cama de siembra adecuada con el tamaño de agregados óptimo para la siembra posterior. En la Figura 9 se muestra el acoplamiento del rodillo Aqueel a un subsoleador de corte horizontal comercialmente conocido como Multiarado. El Multiarado roturará el suelo con un principio de no inversión y creará el sistema de

poros en el suelo capaces de incrementar la capacidad de infiltración del agua en el suelo. El rodillo desmenuzará los terrones y formará una cama de siembra más uniforme y nivelada y traerá los beneficios de la labranza profunda (Jones, 1996).



Figura 9. Rodillo Aqueel adaptado a un arado implemento de subsuelos para la siembra posterior de granos pequeños.

4.4. Aplicación del Rodillo Aqueel: Estudio de Caso, Cadereyta, Qro.

En el caso específico de la región semiárida de Querétaro, México, durante el ciclo agrícola primavera-verano 2002, se inició la aplicación del Sistema Aqueel a la producción de frijol bajo condiciones de temporal en una región donde la media anual de precipitación no supera los 400 mm. El proyecto incluyó en forma inicial, la combinación de otras tecnologías simples, eliminando el uso del arado de discos; solamente se realizó un paso de rastra sobre el terreno después de las primeras lluvias y una vez que la primera generación de maleza había nacido. En forma casi inmediata, aprovechando el contenido de humedad del suelo (el terreno

estaba en consistencia friable) se procedió a la siembra de frijol con una sembradora modificada para realizar la siembra de 3 hileras en una cama de siembra o melga en lugar de las dos hileras convencionales. Atrás de la sembradora se adaptó la Rueda Aqueel (Figura 10) formando un rodillo (Figura 11), con lo que se consolidó el suelo para asegurar un buen contacto suelo-semilla y se realizó la “impresión” de las indentaciones o minireservorios para la captación “*in situ*” del agua de lluvia. Es en esta condición de humedad donde mejor se hacen las impresiones y el rodillo trabaja mejor. En condiciones con humedad deficiente el rodillo ayuda al acondicionamiento superficial del suelo pero no forma las reservorios eficientemente.

Los beneficios directos que se observaron con el rodillo Aqueel (Figura 12), fueron los siguientes: cambio en la rugosidad superficial de una condición aleatoria hacia una condición ordenada geométricamente; disminución del tamaño de los terrones en el campo para una mejor condición de germinación; y, cambio de los surcos en una cama de siembra impresa con los minireservorios, que disminuye significativamente la concentración del agua de lluvia en canales potencialmente erosivos.

La recomendación en el uso del Rodillo, es esperar a que crezca la primera generación de maleza con las primeras lluvias; una vez que el suelo “de punto” para la siembra, es decir que se encuentre en el límite friable o a capacidad de campo, se pasa una rastra para eliminar la maleza y acondicionar el suelo inmediatamente antes de la siembra. Normalmente, si la condición es adecuada, atrás de la rastra se procede a la siembra. En ocasiones el agricultor decide esperar un día para tener una mejor condición de siembra.

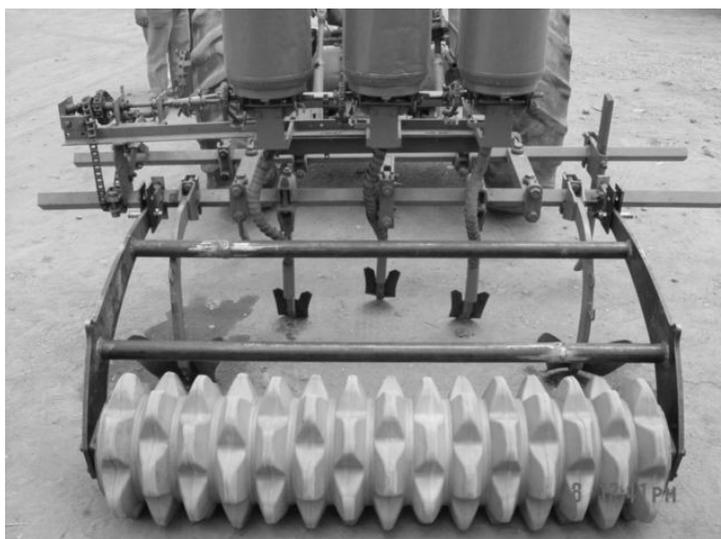
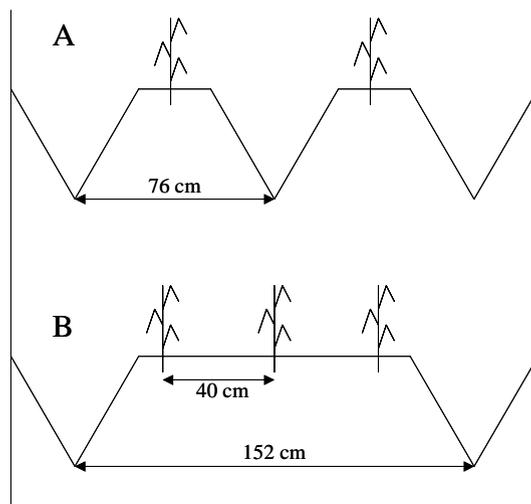


Figura 10. Modificación del arreglo topológico de la siembra tradicional (A y B arriba) y sembradora de tres hileras con Rodillo Aqueel adaptado para la captación “*in situ*” del agua de lluvia (abajo).

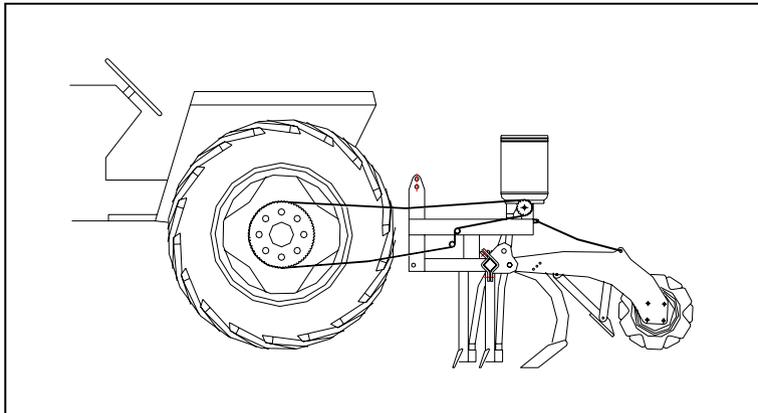
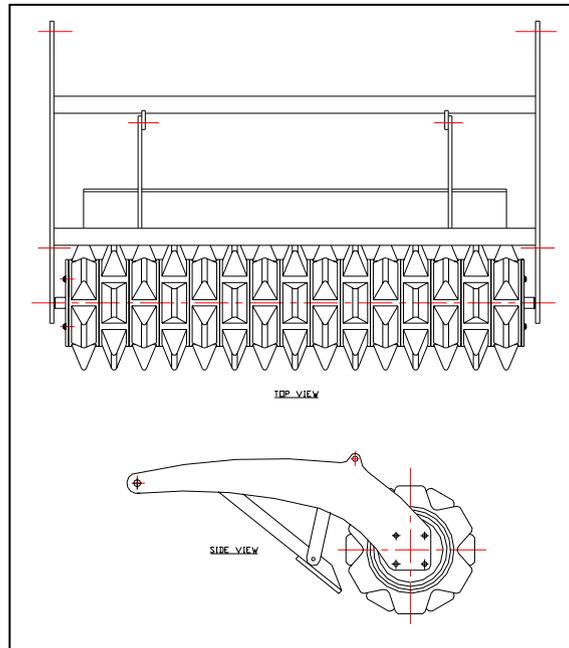


Figura 11. Arriba, diseño del Rodillo Aqueel de 1.50 m de largo para una sembradora en hileras. Abajo, detalle del acoplamiento a la sembradora y tractor.



Figura 12. Acondicionamiento del suelo durante la siembra con el Sistema Aqueel. La parte inferior muestra el trabajo de siembra convencional. La parte superior muestra el beneficio de usar el rodillo Aqueel y la superficie lista para la captación del agua de lluvia.

El sistema Aqueel acoplado a la sembradora permitió la captación del agua de lluvia durante las etapas iniciales de desarrollo del cultivo de frijol. La Figura 13 muestra una parcela sembrada con frijol durante el ciclo agrícola primavera-verano 2002 en la que se observa la forma en que los mini reservorios captaron la lluvia y no hubo indicios visibles de formación de canalillos o cárcavas ni de encostramientos superficiales significativos que hayan afectado la germinación del cultivo. Fue notorio observar que el agua de lluvia quedó uniformemente distribuida sobre el terreno, evitándose la concentración en las partes bajas y el escurrimiento hacia fuera del terreno; en consecuencia, la emergencia del cultivo y el posterior crecimiento fue uniforme. La tecnología puede contribuir a garantizar rendimientos altos y homogéneos en áreas extensas de terreno.



Figura 13. Parcela con el sistema Aqueel en un sistema de siembra al contorno en la que se observa la captación del agua de lluvia (recuadro).

Se ha observado, sin embargo, que para las etapas intermedias de desarrollo del cultivo la impresión de los mini reservorios en el terreno se desintegra parcialmente con el impacto de las gotas de lluvia. En este momento el agricultor tiene la opción de utilizar un herbicida para el control de la maleza y dejar las impresiones hasta el final de la cosecha si la humedad en el suelo es todavía suficiente, o en su defecto puede proceder a la escarda con la variante de adicionar contreadoras (Martínez, 1988) en las calles donde van las ruedas del tractor para captar humedad extra y así poder asegurar el rendimiento del cultivo (Figura 14).



Figura 14. Combinación del contreo en la segunda etapa del cultivo en la captación de agua de lluvia para la producción de frijol en tres hileras en la zona semiárida de Querétaro. Se observan todavía las impresiones de la rueda Aqueel en el terreno aún en esta etapa avanzada de desarrollo del cultivo (ver el círculo).

El uso del Sistema Aqueel con la sembradora en tres hileras permitió aumentar el número de plantas de frijol por metro cuadrado de alrededor de 10 para el sistema tradicional a más de 20. El incremento promedio del contenido de humedad en el suelo aumentó de 20% en el sistema tradicional a un valor aproximado de 50% en el Sistema Aqueel. Bajo este sistema, las plantas no mostraron estrés hídrico y el resultado final fue un incremento en el rendimiento. Durante el año 2002, la precipitación durante el ciclo de cultivo fue menor de 100 mm; en el sistema tradicional, el rendimiento fue de 450 kg/ha, mientras que con el sistema Aqueel se obtuvieron poco más de 900 kg/ha. En el ciclo 2003, el rendimiento con el sistema Aqueel fue de 1,400 kg/ha de frijol, mientras que en el sistema tradicional permaneció en alrededor de 450 kg/ha. En este año la precipitación durante el ciclo de cultivo fue de 250 mm, lo que propició un mayor rendimiento.

En la Figura 15 se observa una fotografía del estado de crecimiento del cultivo de frijol a los cuarenta y cinco días después de la siembra realizada el 7 de Julio del 2002. La última precipitación fue el 14 de Julio del mismo año y posteriormente la siguiente lluvia ocurrió el 9 de Septiembre. Esto indica que con la humedad en el suelo al momento de la siembra y con la captación posterior de agua de lluvia con el Sistema Aqueel se pudo superar la deficiencia de humedad. Es notoria en la Figura 15 la uniformidad en el crecimiento del cultivo como resultado de una verdadera captación *in situ* del agua de lluvia.

El sistema ha sido utilizado con diferentes cultivos como maíz, sorgo, y avena con resultados favorables. En la actualidad se sigue mejorando este sistema de producción integrando tecnologías que involucren un manejo adecuado del suelo, especialmente en la preparación del terreno donde se recomiendan tecnologías de labranza profunda de corte horizontal, y en el uso de fertilizantes y variedades mejoradas. Esta integración de tecnologías permitirá reducir aún más el riesgo de sequía y

ayudará a incrementar en forma significativa los rendimientos y calidad de los cultivos.



Figura 15. Cultivo de frijol creciendo durante el ciclo primavera verano 2002 en el Valle de Cadereyta, Qro, con el Sistema Aqueel y siembra a tres hileras.

5. PERSPECTIVAS

Bajo la consideración de poder lograr un uso más eficiente del agua de lluvia mediante una mayor captación “in situ”, se ha podido aumentar el número de plantas por unidad de área en las siembras realizadas. Sin embargo, tal como ha sido observado en condiciones de campo, las hojas de frijol comienzan a ponerse amarillas y secarse en la base de la planta durante la etapa de llenado de grano, lo que implica una deficiencia de nutrientes, especialmente nitrógeno. Es por eso que, atendiendo a las

necesidades del cultivo bajo este sistema de producción, el esquema de fertilización se debe adecuar. La fórmula de fertilización recomendada para siembras en surcos de 72-80 cm es de 40-40-00 para zonas semiáridas como la de Querétaro (INIFAP, 1998).

El sistema se puede utilizar con otros cultivos anuales que se siembren en surcos como los cereales, además del frijol. Esto podría coadyuvar a la reconversión productiva en áreas de monocultivo de frijol con los beneficios de un mejoramiento de los suelos y una reducción en los problemas de erosión y de afectación por sequía.

6. CONCLUSIONES

- La agricultura de temporal incrementará su papel en la producción de alimentos en el futuro. Sin embargo, se necesitan realizar reformas apropiadas en las políticas e inversiones en investigación y desarrollo para expandir la contribución de la producción bajo ambientes de precipitación limitada.
- La captación de agua de lluvia tiene el potencial para mejorar los rendimientos y proveer a los agricultores con la disponibilidad de agua y el aumento en la fertilidad del suelo en algunos ecosistemas, así como contribuir positivamente a través de beneficios indirectos como la reducción en la erosión de los suelos en muchas regiones del país.
- Como una contribución al diseño de sistemas de captación “*in situ*” del agua de lluvia, la rueda Aqueel® es una alternativa viable y económica. La rueda es un aditamento, no un implemento, por lo que puede adaptarse sin ningún problema a cualquier implemento de que el agricultor disponga.
- Al usarse en forma de rodillos sobre la superficie de terrenos sueltos, forma mini reservorios que modifican, en una forma geométrica

ordenada, la rugosidad de la superficie del suelo y ayuda a la captación “*in situ*” del agua de lluvia.

- Cada minireservorio tiene capacidad de almacenar hasta 1 litro de agua aún si no hubiera infiltración en el suelo. Los minireservorios sirven de áreas de almacenamiento del agua de lluvia justo donde la semilla la necesita para germinar y el cultivo para crecer.
- Al retener el agua por un tiempo mayor se promueve una mayor infiltración, se reduce la cantidad y velocidad de escurrimiento y por lo tanto disminuye la cantidad de suelo erosionado en forma significativa.
- La adaptación de la rueda Aqueel a nuevas tecnologías y la integración de otras ya existentes como los sistemas de preparación de suelos con labranza profunda de corte horizontal, el uso de fertilizantes y variedades mejoradas y adaptadas a las condiciones climáticas, de suelos y de mercado del país, permitirá incrementar el rendimiento de los cultivos en un plazo inmediato.
- En el largo plazo podrán notarse efectos significativos en la conservación de suelos, la recarga de acuíferos y la calidad del agua, todo esto redundará en una mejora en la calidad de vida de los agricultores.

7. LITERATURA CITADA

1. Anaya, G.M. 1981. Research methodologies for *in situ* rain harvesting in rainfed agriculture. *In*: G.R. Dutt, D.F. Hutchinson and M.G. Anaya (Eds). Proceedings of the USA - México Workshop on Rainfall Collection for Agriculture Use in Arid and Semiarid Regions. September 10 - 12, 1980 University of Arizona, Tucson. Commonwealth Agricultural Bureaux, U.K. pp. 43 - 47.
2. Anaya Garduño, M. 2002. Sistemas de Captación de Agua de Lluvia. Memoria de la VIII Reunión Nacional sobre Sistemas de Captación de Agua de Lluvia. Chihuahua, México.

3. CQRN-Centro Queretano de Recursos Naturales. 2003. El Sistema de Agua en la Región Querétaro de la Cuenca Lerma-Chapala. Tomo 7. Primer reporte: Diagnóstico. CIDETEQ-CONCYTEQ. Querétaro, México.
4. Comisión Nacional del Agua. 1999. Informe 1989-1993 Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos-Comisión Nacional del Agua. P. 26
5. González S. E., I Braud, J.L. Thony, M. Vauclin, P. Bessmoulin, y J.C.A. Calvet. 2003. Evidencia experimental de la reducción de la evaporación del suelo por la presencia de un lecho natural de residuos vegetales. Ingeniería Hidráulica en México. Vol. XVIII(4).
6. Hansen, H, and W. Trimmer. 1997. Irrigation Runoff Control Strategies. Oregon State University Extension Service Publication. PNW 287.
7. Hofwegen P. van, and M. Swendsen. 2000. *A vision of water for food and rural development*. World Water Vision Report. Paris: United Nations Educational Scientific and Cultural Organization (UNESCO).
8. INIFAP.1998. Cultivo de Frijol de Temporal en el Semiárido de Querétaro. Folleto para productores Núm. 1. INIFAP, Campo Experimental Querétaro. 13 p.
9. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 2000. XII Censo General de Población y Vivienda 2000. (<http://www.inegi.gob.mx/difusion/espanol/poblacion/index.html>)
10. Jones, A.J. 1996. Subsoiling in Nebraska. Soil Resource Management. File NF 258. University of Nebraska, Lincoln, NE, USA. (<http://www.ianr.unl.edu/pubs/Soil/nf258.htm>)
11. Kaufman, D.G. y C.M. Franz. 2000. Biosphere 2000: Protecting our Global Environment. Harper Collins College Publisher. New York, USA. 6007 p.
12. Martínez Gamiño, M.A. 1988. Respuesta del frijol de temporal al pileteo en Aguascalientes. En: Memorias del XXI Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Cd. Juárez, Chihuahua. 8-11 Nov., 1988. pp. 57.
13. Millán, D. "El agua en México. Un problema de distribución". *Reforma*, domingo 11 de marzo del 2001. P. 4A
14. Nearing M.A., L.J. Lane, E.E. Alberts, and J.M. Laflen. 1990. Prediction Technology for Soil Erosion by Water: Status and Research Needs. Soil Science Society of American Journal. 54(6):1702-1711.
15. Rosegrant, M. W. 1997. *Water resources in the twenty-first century: Challenges and implications for action*. Food, Agriculture, and the Environment Discussion Paper No. 20. Washington, D.C.: International Food Policy Research Institute.

16. Rosegrant M., X. Cai, S. Cline, and N. Nakagawa. 2002. The Role of Rainfed Agriculture in the Future of Global Food Production. EPTD Discussion Paper No. 90. Environment and Production Technology Division. International Food Policy Research Institute, Washington, D.C., U.S.A. 127 p.
17. Tijerina V. A., J.W. Estrada B-W, J.B. Estrada B-O, M. Camacho V. 2001. La Desertificación en el Altiplano Mexicano. Memorias de la VII Reunión Nacional Sobre Sistemas de Captación de Agua de Lluvia. Chapingo, Mex. Pag 14-21.
18. Tovar S., J.L., y M. Anaya G. 2002. Implementos Agrícolas para los Sistemas de Microcaptacion de Lluvia en Zonas de Temporal Deficiente. Memoria de la VIII Reunión Nacional sobre Sistemas de Captación de Agua de Lluvia. Chihuahua, Mex.
19. Ventura E. Jr., M.A. Domínguez, L. D. Norton, K. Ward, M. López-Bautista and A.Tapia-Naranjo. 2003. A New Reservoir Tillage System for Crop Production in Semiarid Areas. ASAE Paper No. 032315. *St Joseph, Michigan.*

BARRERAS ROMPEVIENTOS

Alejandro Amante Orozco¹

1. INTRODUCCION

Generalmente se considera como barrera rompevientos a una o varias hileras de árboles o arbustos, a un seto vivo, o a ambos. No obstante, los principios que regulan el flujo del aire sobre las mismas, se pueden aplicar también a las cercas de varios materiales (cañas, ramas, piedras, mallas, etc.), bordos de tierra y cultivos de crecimiento alto en hileras angostas, entre otros cultivos más frágiles.

El momento horizontal del viento se transfiere verticalmente a la superficie del suelo y da origen a un esfuerzo cortante sobre la misma. Este esfuerzo cortante que se ejerce sobre la superficie, es definido por el gradiente de velocidad con la altura. Cuando las fuerzas cortantes del viento superan la resistencia del suelo, las partículas del suelo son desprendidas y transportadas por el viento. Al obstruir la trayectoria del viento, las barreras reducen el momento transferido a la superficie y por lo tanto, el esfuerzo cortante superficial. Este efecto se logra al disipar parte de la energía del viento en pérdidas por fricción y al desviar el flujo del aire hacia arriba.

La función más importante de una barrera, es presentar resistencia al avance que ejerce una fuerza al viento, lo cual se traduce en una disminución de su velocidad. Se han realizado numerosas mediciones tanto en túneles de viento como en campo, que demuestran que cuando se coloca una barrera perpendicular a la dirección del viento, se reduce notablemente su velocidad en el lado a sotavento y en menor proporción al barlovento.

¹ Dr. Investigador del Colegio de Postgraduados Campus San Luis

Con fines prácticos, esta reducción comúnmente se expresa como el porcentaje de reducción de la velocidad del viento a campo abierto, y como la protección es proporcional a la altura de la barrera, la distancia en que se obtiene la reducción a un determinado porcentaje se expresa en términos de alturas de barreras (H) a partir de la misma.

Las cortinas rompevientos han sido utilizadas por mucho tiempo como una práctica de control de erosión eólica, sin embargo, su implementación trae consigo otros beneficios como la protección que proporcionan a los cultivos, al ganado y a las construcciones, además de constituir un hábitat para la fauna silvestre. Las barreras también al modificar el flujo del aire a sotavento, inducen un microclima que incrementa el rendimiento de los cultivos. Por otro lado, las cortinas también compiten por espacio, nutrientes y agua del suelo, con los cultivos.

2. CARACTERISITICAS DE LA BARRERA QUE AFECTAN EL FLUJO DE AIRE

Forma

La forma de la barrera caracteriza el perímetro exterior o la superficie que entra en contacto con la corriente de aire. La máxima protección se alcanza cuando la sección transversal de la barrera es triangular (en forma de "V" invertida) o inclinada hacia el barlovento (Chepil y Woodruff, 1963; Woodruff y Zingg, 1953; Skidmore, 1969).

Anchura

Inicialmente se suponía que las barreras de 10 hileras o más, ofrecían mayor reducción en la velocidad del viento. La investigación en ese sentido, reconoce ahora, que las barreras no necesitan ser anchas para lograr una reducción considerable en la velocidad del viento. Por lo tanto, la tendencia actual es la de establecer barreras de una sola hilera, las cuales brindan tanta protección como las barreras más anchas (Cuadro

1), con la ventaja de que éstas roban menos espacio, nutrientes y agua del suelo, a los cultivos (Skidmore, 1969).

Cuadro 1. Efectividad de algunas cortinas de árboles y arbustos y de cultivos anuales para controlar erosión eólica (Woodruff, 1966)

BARRERA ROMPEVIENTOS	DISTANCIA PROTEGIDA* (H**)
Árboles y arbustos:	
2 hileras Mora	18.2 m
5 hileras Ciruelo, cedro, mora, olmo, olivo	15.0 m
1 hilera Maclura	12.0 m
3 hileras Cedro (2), arbusto	11.0 m
1 hilera Olmo siberiano	9.5 m
Cultivos anuales	
Kochia	12.0 m
Pasto Sudán	7.5 m
Sorgo para grano	6.0 m
Sorgo para forraje	4.0 m
Maíz de Guinea	1.0 m

* Para un viento de 17.9 m/s y velocidad umbral de 11.2 m/s (ambas a una altura de 15 m)

** H = altura promedio de la hilera de árboles o arbustos más alta en la barrera, o del cultivo

Longitud

Las barreras de corta longitud protegen una superficie en forma triangular. El área protegida se vuelve rectangular con barreras largas. Por otra parte, la velocidad del viento se incrementa en los extremos de la barrera, dicho incremento es mayor en las barreras cortas y se reduce con la longitud de las mismas. Una longitud adecuada es de 12 veces la altura de la barrera, cuando la dirección del viento es perpendicular a la misma, y de 24 veces la altura para una desviación del 45° en la dirección del viento con respecto a la perpendicular (Morgan, 1980).

Altura

La distancia protegida por una cortina rompevientos se incrementa proporcionalmente con la altura de la barrera. La zona de influencia al sotavento de la barrera se puede extender hasta 40 o 50 veces la altura de la barrera (Chepil y Woodruff, 1963). La zona de completa protección, sin embargo, es más reducida y depende de la velocidad del viento a campo abierto y de la velocidad umbral que alcanza en la superficie del suelo (Cuadro 1). Se puede decir que la zona completamente protegida puede variar de 12 a 17 veces la altura de la cortina o barrera (Morgan, 1980). El modelo de erosión eólica (Woodruff y Siddoway, 1965) considera que la zona de completa protección es de 10 veces la altura de la barrera.

Porosidad

La porosidad es el factor principal que determina la eficiencia de una cortina para reducir la velocidad del viento. La resistencia al avance ejercido por la barrera sobre el flujo de aire, determina la distancia protegida. La transferencia de momento del flujo de aire a la barrera, determina los coeficientes de resistencia al avance de varios tipos de barreras.

Hagen y Skidmore (1971) y Skidmore y Hagen (1977), señalan que la resistencia al avance disminuye linealmente con el incremento en la porosidad hasta un 40%; después de este valor y hasta un 60% de porosidad, la resistencia al avance disminuye fuertemente. No obstante, las barreras con mayor resistencia al avance no son las más efectivas. Al respecto, Skidmore y Hagen (1977), mencionan que las barreras pueden ser demasiado densas o demasiado permeables para ser efectivas. Para las barreras muy densas (altos coeficientes de resistencia al avance), la mínima velocidad del viento a sotavento ocurre cerca de la barrera, sin embargo, una vez alcanzado el mínimo, la velocidad del viento tiende a incrementarse más rápidamente en relación a las barreras más

permeables, por lo que el área protegida por las barreras de baja porosidad es más reducida. Las cortinas con alto grado de porosidad, por su parte, ejercen bajos coeficientes de resistencia al avance sobre el flujo del viento y la protección tiende a desaparecer

La porosidad óptima para controlar la erosión eólica, por lo tanto, debe ser aquélla donde el coeficiente de resistencia al avance reduzca la velocidad del viento por debajo de la velocidad umbral del suelo, a la mayor distancia al sotavento de la cortina. Se ha encontrado que la mayor reducción total en la velocidad del viento en una distancia de 30 veces la altura de la barrera, se consigue con una porosidad cercana al 40% (Skidmore y Hagen, 1977). Una barrera con esta porosidad es translúcida pero no transparente, de tal manera que es posible ver objetos al otro lado de la misma sin poder identificarlos (Morgan, 1980).

Hagen y Skidmore (1971) estudiando barreras con diferentes porosidades, determinaron que las fluctuaciones turbulentas de la velocidad del viento a sotavento de las barreras, se reducen por debajo de los valores a barlovento cerca de la barrera. La reducción es mayor con el incremento en la porosidad de la barrera. Las fluctuaciones turbulentas se incrementaron con la distancia a sotavento para todas las porosidades, sin embargo, las barreras sólidas presentaron los mayores valores en todas las posiciones a sotavento.

3. PATRON DE REDUCCION DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO Y DISEÑO DE BARRERAS

Uno de los principales aspectos a considerar en el diseño de un sistema de barreras protectoras, es su espaciamiento. El diseño de cortinas rompevientos se basa en relaciones empíricas obtenidas principalmente a partir de experimentos en túneles de viento. Así, por ejemplo, Woodruff y Zingg (1952; citados por Morgan, 1980) desarrollaron

la siguiente ecuación para determinar el espaciamiento de barreras que considera las variaciones en la dirección del viento:

$$L = 17H (Vt/V) \cos \alpha \quad (1)$$

Donde:

- L = distancia de separación de las barreras
- H = altura de la barrera
- V = velocidad del viento a campo abierto medida a 15 m de altura,
- Vt = velocidad umbral del viento considerada como 34 km/hr
- α = ángulo de desviación de la dirección del viento prevaleciente con la perpendicular de la barrera.

Otra ecuación para determinar el espaciamiento entre barreras desarrollada por Skidmore y Hagen (1977), se basa en el patrón de reducción de la velocidad del viento al sotavento de una barrera con el 40% de permeabilidad. Dicho patrón de reducción a sotavento se ajustó a la siguiente relación empírica:

$$Vx/Vo = 0.85 - 4e^{-0.2H} + e^{-0.3H} + 0.0002H^2 \quad (2)$$

y para el barlovento se ajustó a la relación:

$$Vx/Vo = 0.502 + 0.197x - 0.019x^2 \quad (3)$$

donde x representa la distancia a partir de la barrera medida en unidades de altura de barreras H, Vo es la velocidad del viento a campo abierto y $H' = x/\sin \beta$, donde β es el ángulo agudo de la dirección del viento, al cual se le da un valor mínimo de 0.18. Esta ecuación puede ser usada para

determinar la distancia protegida en relación a una velocidad umbral del viento determinada, y por lo tanto, el espaciamiento entre barreras.

En el Cuadro 2 se muestra un ejemplo donde se aplica la ecuación dos. Se aprecia cómo el área protegida de la acción del viento varía con los cambios en la velocidad del mismo a campo abierto y con la velocidad umbral del suelo. Las velocidades reducidas que se muestran en el Cuadro 2, se obtienen suponiendo que el viento corre perpendicular a la barrera y que todas las velocidades del viento son medidas a 30 cm de la superficie del suelo. Se indican también, las velocidades reducidas a diferentes distancias a sotavento a las cuales se presentaría el proceso erosivo, para diferentes velocidades de viento a campo abierto y para varias velocidades de umbral del suelo.

Cuadro 2. Velocidades de viento reducidas a sotavento para varias velocidades a campo abierto, a las cuales se presentaría erosión eólica por superar la velocidad umbral que se indica (Wilson y Cooke, 1980).

H	% de V	Velocidad de viento umbral (m/s)											
		5.0				6.7				8.3			
		Velocidad del viento a campo abierto "V" (m/s)											
		6.7	9.4	12.2	15.0	6.7	9.4	12.2	15.0	6.7	9.4	12.2	15.0
----- Velocidades de viento reducidas (m/s) -----													
2-6	35	-	-	-	5.2	-	-	-	-	-	-	-	-
8	40	-	-	-	6.0	-	-	-	-	-	-	-	-
10	50	-	-	6.1	7.5	-	-	-	7.5	-	-	-	-
12	60	-	5.7	7.3	9.0	-	-	7.3	9.0	-	-	-	9.0
14	65	-	6.1	7.9	9.7	-	-	7.9	9.7	-	-	-	9.7
16	70	-	6.6	8.5	10.5	-	-	8.5	10.5	-	-	8.5	10.5
18	75	-	7.1	9.2	11.2	-	7.1	9.2	11.2	-	-	9.2	11.2
20	80	5.3	7.5	9.8	12.0	-	7.5	9.8	12.0	-	-	9.8	12.0

Nota: se muestran las velocidades reducidas que exceden el umbral

En este Cuadro se observa, cómo el área protegida a sotavento es mayor cuando los valores de velocidad umbral son altos y la velocidad a campo abierto es baja; por otro lado, la protección puede resultar insuficiente, aún para un distanciamiento de 2 a 6 veces la altura de la

barrera, cuando la velocidad a campo abierto es alta y la velocidad umbral es baja.

La velocidad del viento al cubo representa la capacidad del mismo para producir erosión, por lo cual puede considerarse como la fuerza erosiva del viento. Skidmore y Hagen (1977), encontraron que la disminución ocasionada por las barreras sobre estas fuerzas de erosión es mucho más significativa que la disminución de la velocidad del viento.

Otro aspecto importante en el diseño de cortinas rompevientos lo constituye su orientación y su arreglo, ya que las cortinas pueden ser dispuestas paralelamente, en mallado o en zigzag. Cuando los vientos erosivos provienen de varias direcciones, la orientación que proporciona la máxima protección puede no ser perpendicular a cualquiera de estas direcciones, sino que la máxima protección se obtiene con un esquema en que dicha máxima protección no se consigue orientando barreras contra una dirección del viento en particular (Morgan, 1980).

La orientación de las barreras se puede determinar a través de un modelo que evalúa la efectividad de una cortina (con una porosidad del 40%) en reducir la capacidad del viento para causar erosión (Skidmore y Hagen, 1977). El vector de la fuerza erosiva del viento en una dirección determinada (r_j) se obtiene con la sumatoria (para todos los grupos de velocidad con una velocidad del viento mayor que el valor umbral) del producto de la velocidad media de cada grupo al cubo y un factor de duración para la dirección en cuestión, como se indica en la relación (Skidmore, 1965):

$$r_j = \sum_{i=1}^n V_i^3 f_i \quad (4)$$

donde V_i es la velocidad media del viento dentro del i -ésimo grupo de velocidad, y f_i es un factor de duración expresado como el porcentaje de las observaciones totales en la j -ésima dirección en el i -ésimo grupo de velocidad.

Sustituyendo V_0 en las ecuaciones 2 y 3 con el valor de velocidad media en cada grupo de velocidad del viento, se puede calcular su velocidad a varias distancias de la barrera y usando estas últimas en la ecuación 4 podemos calcular el vector de la fuerza erosiva del viento para una dirección determinada y para varias distancias a partir de la barrera.

La suma de estos vectores para las 16 direcciones cardinales, da la fuerza erosiva total del viento a una distancia específica desde la barrera (F_x) y se expresa como:

$$F_x = \sum_{j=1}^{16} \sum_{i=1}^n V_{xij}^3 f_{ij} \quad (5)$$

Donde V_{xij} se calcula con las ecuaciones 2 y 3 para n grupos de velocidad y 16 direcciones cardinales a una distancia x de la barrera.

Calculando la fuerza erosiva total del viento (F_x) para diferentes orientaciones de barreras a una distancia x de la misma, se determina la orientación óptima de la cortina rompevientos. Con la aplicación de este modelo, estos autores encontraron que una barrera convenientemente orientada brinda una protección significativamente mayor cuando la preponderancia de las fuerzas erosivas del viento en la dirección prevaeciente del viento es alta que cuando la preponderancia es baja. Por otro lado, cuando la preponderancia es muy baja, la orientación de la barrera es casi indiferente. Skidmore (1965) desarrolló un método para determinar dicha preponderancia.

Al momento de diseñar una barrera rompevientos, Morgan (1980) remarca la importancia de incluir hileras de arbustos con un porte más bajo que las hileras de árboles. Lo anterior en virtud de que entre el 50 y 75% del suelo erosionado se desplaza en saltación (Chepil, 1945; citado por Wilson y Cooke, 1980), de ahí que la mayor parte del material se mueve dentro del primer metro de altura por encima de la superficie. De tal manera que la hilera de arbustos constituye un obstáculo y un filtro para este movimiento. La hilera de arbustos, por otra parte, proporciona la forma triangular con la inclinación a barlovento que se desea en la sección transversal de la cortina rompevientos.

Amante (1989), observó una reducción hasta del 85% en la tasa de erosión, al utilizar barreras a base de pencas de nopal con una altura promedio de 60 cm y con diferentes espaciamientos. El obstáculo presentado por las barreras al movimiento de material en saltación fue un factor determinante en la reducción de la tasa de erosión.

4. EFECTO SOBRE EL MICROCLIMA Y RENDIMIENTO DE LOS CULTIVOS

Las características del flujo del aire y la reducción de la velocidad del viento a sotavento de una barrera, se ven afectados por las características de la misma que ya se han discutido, y por las propiedades del fluido como la velocidad, turbulencia, estabilidad termal y dirección. Este flujo de aire modificado, a su vez, afecta al microclima en el sotavento de la cortina. La temperatura diurna del aire usualmente es mayor y la nocturna es menor que a barlovento. El contenido de humedad del suelo es mayor como consecuencia de una reducción en la evaporación. La concentración de CO₂ en la zona del cultivo es mayor a la concentración atmosférica durante la noche y menor durante el día.

Las variaciones en la humedad absoluta son muy ligeras, y ésta usualmente se incrementa cerca de la barrera. La radiación es ligeramente afectada por la barrera, exclusivamente en sus inmediaciones. Skidmore (1969) menciona que la literatura está repleta con ejemplos de incrementos en el rendimiento de los cultivos que son protegidos por una barrera.

Estos incrementos son altamente variables, en algunos casos el incremento es superior al 200% mientras en algunos otros no se observaron incrementos. No obstante, el incremento en los rendimientos observado a menudo por el uso de las barreras, generalmente no ha sido asociado con factores específicos del microclima. El decremento en la evapotranspiración potencial, aparentemente es uno de los principales beneficios de una barrera.

Existe evidencia de que las barreras mejoran la eficiencia del uso del agua no sólo en las regiones subhúmedas y semiáridas, sino también en los desiertos. La respuesta, sin embargo, depende de la especie (Stewart, 1979). Los cereales y el maíz son cultivos de baja respuesta. El arroz y cultivos forrajeros como la alfalfa, el lupino y el trébol, muestran una respuesta moderada. Los cultivos de mayor respuesta son las hortalizas.

Brandle *et al.* (1984), realizaron un análisis de costo-beneficio para la producción de trigo durante el invierno bajo un sistema de cortinas rompevientos formadas por dos hileras de árboles. Durante los primeros años no se presentaron diferencias significativas en el rendimiento por unidad de área, debido a que la barrera no tenía la suficiente madurez para proporcionar protección. A partir del octavo año, los rendimientos por unidad de área incrementaron y se empezó a compensar la disminución en la producción total como consecuencia del espacio ocupado por las barreras. Del año 12 en adelante, se presentó un incremento del 15% en la producción.

En el análisis económico realizado por estos autores se consideró como inversión a la suma de los costos de establecimiento de las barreras y a las pérdidas que ocurrieron durante los primeros 8 años. Esta inversión, de acuerdo al análisis, sería recuperada en el año 13. De este año en adelante se obtendría una ganancia de \$ 2,555 US anuales para el área total de 160 acres, o bien de \$ 16 US anuales por acre.

En el mismo estudio se observó que los mayores beneficios en los rendimientos asociados con la protección de la barrera, ocurrieron durante los años con climas extremos. Las barreras aparentemente redujeron las condiciones de estrés, aminorando los efectos adversos del clima sobre el rendimiento, lo cual representa una importante reducción de los riesgos de producción. También se menciona que, en adición al incremento en los rendimientos, otros beneficios le otorgan incentivos económicos al establecimiento de cortinas rompevientos, siendo el principal de ellos el control de la erosión eólica, lo cual implica el uso sostenido del recurso suelo sin afectar su productividad.

5. OTRAS CONSIDERACIONES EN EL DISEÑO DE BARRERAS

- ✓ Seleccionar plantas nativas o adaptadas a la localidad que sirvan para varios propósitos (control de erosión, recolección y hábitat para fauna silvestre)
- ✓ Una variedad de plantas (árboles, arbustos y plantas herbáceas) mejora la apariencia de la barrera, beneficia a más especies de fauna silvestre y reduce la probabilidad de propagación de plagas y enfermedades.

- ✓ Barreras con hileras curvadas le dan una vista más natural e incrementa los beneficios para la fauna silvestre, a la vez que protegen contra el viento.
- ✓ Generalmente, la fauna silvestre se beneficia más con barreras más largas y anchas que las requeridas para reducir erosión e incrementar la producción de cultivos.

6. LITERATURA CITADA

1. Amante O., A. 1989. Variabilidad espacial y temporal de la erosión eólica. Estudio de caso. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Méx. 174 p.
2. Brandle, J.R., Johnson, B.B., and D.D. Dearthmont. 1984. Windbreak economics: The case of winter wheat production in eastern Nebraska. *J. of Soil and Water Conserv.* 39(5): 339-343.
3. Chepil, W.S., and N.P. Woodruff. 1963. The physics of wind erosion and its control. *Advances in Agronomy.* 15. 211-302.
4. Hagen, L.J., and E.L. Skidmore. 1971. Turbulent velocity fluctuations and vertical flow as effected by windbreak porosity. *Trans. Am. Soc. Agric. Engrs.* 14(4): 634-637.
5. Morgan, R.P.C. 1980. Implications. In: M.J. Kirkby and R.P.C. Morgan (Eds.). *Soil erosion.* John Wiley & Sons, Ltd. Great Britain. 253- 301 pp.
6. Skidmore, E.L. 1965. Assessing wind erosion forces: Directions and relative magnitudes. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 29(5): 587590.
7. Skidmore, E.L. 1969. Modifying the microclimate with wind barriers. *Proceedings of seminar "Modifying the soil and water environment for approaching the agricultural potential of the Great Plains".* Agr. Council Pub. No. 34, Vol. 1: 107120.
8. Skidmore, E.L., and L.J. Hagen. 1977. Reducing wind erosion with barriers. *Trans. Am. Soc. Agric. Engrs.* 20(5):911-915.
9. Stewart, R.E. 1979. Technology of agriculture. *Encyclopaedia Britannica, Inc. Macropaedia* Vol. 1. p. 360.
10. Wilson, S.J., and R.U. Cooke. 1980. Wind erosion. In: M.J. Kirkby and R.P.C. Morgan (Eds.). *Soil erosion.* John Wiley & Sons, Ltd. Great Britain. 217-251 pp.

11. Woodruff, N.P. 1966. Wind erosion mechanics and control. Proc. first Pan American Congress of soil conservation. Sao Paulo, Brazil. 253-262 pp.
12. Woodruff, N.P., and F.H. Siddoway. 1965. A wind erosion equation. Proc. Soil Sci. Soc. Am. 29(5): 602-608.

MANEJO Y REHABILITACIÓN DE AGOSTADEROS DE ZONAS ÁRIDAS Y SEMIÁRIDAS

Sergio Beltrán López¹, Catarina Loredo Osti¹ y Jorge Urrutia Morales¹

1. INTRODUCCIÓN

La ganadería es una actividad económica donde a través del uso y manejo de animales domésticos se convierte a la materia orgánica de los vegetales (forraje) en productos pecuarios como carne, leche, lana y otros subproductos. En México, especialmente en las zonas áridas y semiáridas, la ganadería se desarrolla en forma extensiva en pastizales, los cuales, de acuerdo a la Comisión Técnico Consultiva para la Determinación de Coeficientes de Agostadero (COTECOCA, 1974), ocupan el 70% del territorio nacional, lo cual sitúa a estas zonas y a la actividad ganadera, como la principal empresa por unidad de superficie.

Los agostaderos o pastizales son aquellas áreas de baja productividad potencial para los cultivos agrícolas, debido a limitaciones físicas (Aizpuru, 1995). Las limitaciones pueden ser baja precipitación, topografía accidentada, drenaje deficiente o temperatura (Stoddart *et al.*, 1975). Incluye cualquier tipo de vegetación que se utilice extensivamente a través del pastoreo de animales domésticos o silvestres; además es fuente de agua, hábitat para la fauna silvestre, plantas medicinales, madera y recreación (Aizpuru, 1982).

Humphrey (1962), emplea el término pastizal para referirse a tierras no irrigadas que se usan a través del pastoreo. Las áreas de pantanos

¹ Dr. Investigador del Campo Experimental San Luis CIRNE-INIFAP
beltran.sergio@inifap.gob.mx; loredo.catarina@inifap.gob.mx; urrutia.jorge@inifap.gob.mx

naturales y terrenos montañosos se consideran como pastizal. Los bosques, aun cuando su valor principal es la madera y el agua, también son pastoreados y en consecuencia deben considerarse como parte del pastizal.

Generalmente el término pastizal, da una idea errónea de que se está hablando de un zacatal, el cual se define como un sitio con abundancia de especies gramíneas (zacates). La Sociedad de Manejo de Pastizales de Estados Unidos (RMS, 1974), define como pastizal a todas las tierras en las cuales la vegetación nativa (clímax o potencial), está constituida predominantemente de pastos, plantas herbáceas o arbustivas que son adecuadas para el pastoreo o ramoneo; incluye terrenos revegetados natural o artificialmente para proveer una cubierta de forraje que puede ser manejada como vegetación nativa.

2. AGOSTADEROS DE ZONAS ÁRIDAS Y SEMIÁRIDAS

Los términos pastizal y agostadero se utilizan indistintamente para referirse a aquellas áreas en donde pasta el ganado. La palabra agostadero se deriva de la acción realizada por el ganado y se refiere al lugar donde agosta, o sea donde se alimenta. Al respecto, De Alba (1971), señala que agostadero es aquella tierra con pastizal nativo y que es una palabra netamente castellana que se refiere a terrenos donde agosta el ganado y es el vocablo más apto para traducir la palabra “rangeland” o pastizal utilizado en Norteamérica.

El término agostar proviene de la gran cantidad de forraje que precisamente durante el mes de agosto está disponible y que es considerado como la mejor época del año para la alimentación del ganado. En este escrito, se utilizarán indistintamente ambos términos.

De acuerdo a lo anterior, cualquier área natural que sirva como fuente de alimentación del ganado doméstico o silvestre es considerada como un agostadero. De acuerdo a la clasificación de COTECOCA (1974), quedan dentro del agostadero, los siguientes tipos de vegetación: pastizal mediano abierto, pastizal amacollado, pastizal halófito, diferentes tipos de matorrales y algunos bosques con producción de forraje bajo el dosel arbóreo.

En las zonas semiáridas el agostadero o pastizal, es la fuente de alimentación más barata que existe para los rumiantes manejados en condición extensiva, donde por lo general se mantiene el ganado durante todo el año bajo un esquema de pastoreo continuo (Aizpuru, 1995). Durante el periodo de escasez de forraje en el agostadero, lo cual ocurre después de iniciado el período de heladas, los ganaderos se apoyan en otras fuentes de alimentación como son los esquilmos de cultivos agrícolas (rastroy de maíz, sorgo y tazol de frijol) y algunos productos y subproductos de especies maderables y no maderables como el maguey picado, nopal chamuscado, flor de yuca y vaina de mezquite (Loredo y Beltrán, 1998).

En la actualidad, la mayoría de los agostaderos del Centro y Norte de México están sometidos a pastoreo extensivo y se encuentran en estado de alto deterioro, debido principalmente a una inadecuada utilización de los recursos naturales disponibles. El sobrepastoreo ha ocasionado una drástica disminución de la productividad forrajera, pérdida de germoplasma, degradación de la cubierta vegetal y por consiguiente, un incremento en la pérdida de suelo por erosión; en general existe una reducción de la capacidad de sostenimiento para la ganadería existente.

Urrutia *et al.* (2000), señalan que la base para el desarrollo de la ganadería es la alimentación y que ningún animal mal alimentado

responderá a programas de mejoramiento productivo o reproductivo si no se han cubierto previamente sus requerimientos de mantenimiento.

Las acciones que permitan un manejo adecuado de los pastizales en las zonas áridas y semiáridas, son prioritarias cuando se desarrollan programas de manejo de recursos para esas zonas. El objetivo de este capítulo es presentar la información relativa a los componentes del agostadero, la importancia del rebrote en las plantas forrajeras para la recuperación de la capacidad productiva, el concepto de carga animal y coeficiente de agostadero, así como las principales prácticas de manejo y rehabilitación de pastizales.

2.1. Productividad del agostadero

Los agostaderos de zonas áridas y semiáridas tienen una productividad más o menos estable, en función al clima, suelo, altitud, posición fisiográfica, topografía, geología y uso potencial. Sin embargo, es importante reconocer que un agostadero tiene un límite de utilización basado en su productividad forrajera (Negrete *et al.*, 1986).

La productividad actual de los agostaderos, generalmente es más baja de su productividad potencial, debido principalmente a que su utilización se ha realizado en forma inadecuada ya que una cantidad de ganado mayor de la que soporta el pastizal, permanece en forma continua durante todo el año, lo cual origina que las especies más deseables sean consumidas con mayor frecuencia e intensidad impidiendo su recuperación. Lo anterior provoca la desaparición de la cubierta vegetal que protegía al suelo, el cual es acarreado por los escurrimientos superficiales hacia las partes más bajas, ocasionando altos niveles de erosión y el azolvamiento de obras de captación de agua (Beltrán y Loredo, 1996).

2.2. Recursos forrajeros de agostaderos de zonas semiáridas

Las especies forrajeras que existen en los pastizales de zonas áridas y semiáridas son muy diversas. En función a la productividad de cada una de estas especies, a su valor nutricional, resistencia al pastoreo y aceptación por el ganado, las especies se clasifican como deseables, menos deseables e indeseables (Huss y Aguirre, 1979); en este último grupo quedan incluidas todas las especies tóxicas.

Cabe aclarar que esta nomenclatura fue realizada en función a la actividad ganadera, ya que pueden existir algunas especies que aunque sean consideradas como “indeseables” para el ganado, puedan ser útiles para otros fines (uso medicinal, ornamental e industrial entre otros), o simplemente como un recurso natural presente.

Entre las especies deseables para la ganadería, se encuentran especies nativas de alto valor forrajero como los pastos: Navajita (*Bouteloua gracilis*), Banderilla (*Bouteloua curtipendula*), Gigante (*Leptochloa dubia*), Tempranero (*Setaria machrostachya*), Búfalo (*Bouteloua dactyloides*) así como algunas arbustivas forrajeras entre las cuales destacan el Chamizo o Costilla de vaca (*Atriplex canescens*), Guajillo (*Acacia berlandieri*), Vara dulce (*Eysenhartia polystachya*), Ramoncillo o Engorda cabra (*Dalea tuberculata*) y Mariola (*Parthenium incanum*).

Dentro de las menos deseables se encuentran las siguientes: Zacate lobo (*Lycurus phleoides*), Borreguero (*Erioneuron pulchellum*), Zacatón alcalino (*Sporobolus airoides*) y otras especies de los géneros *Bouteloua*, *Stipa* y *Botriochloa*.

Como especies indeseables se consideran todas aquellas que el ganado no consume o las consume solamente en casos de extrema

sequía o extrema escasez de forraje; tal es el caso de la Gobernadora (*Larrea divaricata*), Choya (*Opuntia imbricata*), Coyonoxtle (*Opuntia leptocaulis*), y algunas plantas tóxicas que el ganado llega a ingerir accidentalmente y que representan problemas para el desarrollo de la ganadería, siendo en algunos casos una de las principales causas de mortandad del ganado (por ejemplo plantas del género *Asclepios*).

3. SUCESIÓN VEGETAL

El manejo de pastizales se basa en principios ecológicos en donde se observan procesos de sucesión vegetal, condición, tendencia de la condición, composición botánica, arquitectura, densidad y frecuencia de especies, comunidades vegetales, áreas y especies clave entre otros.

Se considera como una comunidad de plantas estable, aquélla que presenta el mayor número de especies vegetales nativas cohabitando en forma productiva y sostenible. De acuerdo a la teoría Clemensiana (Stoddart *et al.*, 1975), existe una comunidad clímax, la que a través de procesos de sucesión va alcanzando diferentes niveles o “estados serales”; este proceso invariablemente alcanza el desarrollo hasta llegar a una comunidad de bosque maduro, el cual es considerado como clímax.

Bajo este esquema, el pastizal sólo es un estado seral en el proceso de sucesión vegetal; sin embargo, de acuerdo a las necesidades de alimentación del hombre, este estado seral es el más deseable, ya que en este estado, el ganado puede cosechar en forma eficiente el alimento para su adecuado desarrollo y transformarlo en productos como carne o leche, para satisfacer la creciente demanda de alimentos de las sociedades actuales.

El principio fundamental del manejo de pastizales se basa en el aprovechamiento óptimo del forraje, sin deterioro de las plantas forrajeras. Esto implica que estas plantas deben tener un período de recuperación suficiente para promover su rebrote, a fin de que puedan desarrollar buena cantidad de follaje y puedan ser nuevamente consumidas.

4. EL REBROTE EN ESPECIES FORRAJERAS

La principal función de las especies vegetales forrajeras es atrapar la luz solar en el follaje y absorber agua y nutrientes a través de las raíces para asegurar el abastecimiento de energía para su crecimiento y desarrollo (Hodgson, 1990). Las plantas forrajeras están adaptadas para esos fines, sin embargo, en forma adicional, deben contar con estrategias de adaptación para sobrevivir al efecto de cosechas frecuentes. El impacto de la cosecha está determinado por la cantidad y tipo de tejido removido, el tejido remanente, la frecuencia de la remoción y el estado fenológico de las plantas (Beltrán *et al.*, 2005).

El efecto inmediato después de una cosecha, es la reducción del área foliar y la disminución de la luz interceptada. La consecuencia de esto en la economía del carbono depende de la proporción del área foliar removida, del grado de cosecha de las plantas vecinas y de la capacidad fotosintética de las hojas remanentes (Hernández, 1995). La plasticidad de plantas tolerantes al pastoreo presenta un período fisiológico transitorio y un reajuste morfológico, que ocurren después de varias semanas de ser consumidas por el ganado (Richards, 1993).

Se ha encontrado que la acumulación de forraje disminuye conforme aumenta la frecuencia de cosecha, especialmente en especies de hábito de crecimiento erecto (Chapman y Lemaire 1993) y que la tasa de acumulación de forraje es mayor cuando la cosecha es ligera que

cuando es severa (Richads 1993). Cuando la intensidad de corte es moderada, se induce una mayor cantidad de tallos y se alcanza un equilibrio acorde con la relación tamaño-densidad. Estos tallos, aunque son de menor tamaño y menor peso individual que los de plantas sin utilizar, en conjunto inducen un efecto que repercute favorablemente en el rendimiento de materia seca (Matthew *et al.*, 1995; Beltrán *et al.*, 2002).

5. RELACIÓN ENTRE EL FORRAJE PRODUCIDO Y LA PRODUCCIÓN ANIMAL

El manejo adecuado del ganado a través del pastoreo, permite tener control sobre la cantidad de forraje presente en el potrero y su consumo por el ganado. Cantú (1990), define potrero como aquella área generalmente cercada, constituida por pastos nativos, introducidos o mejorados, no irrigados, con extensión variable que soporta una capacidad de pastoreo en función de la extensión y condición del pastizal; se utilizan para aplicar una mejor distribución e inducir un mejor aprovechamiento del pastizal, así como un mejor manejo del ganado.

Se define como pastos nativos, a las especies gramíneas presentes y originarias de un sitio ecológico en forma natural, sin la intervención del hombre; y, como pastos introducidos, aquellas especies gramíneas no nativas, transportadas de un sitio ecológico lejano hacia áreas en donde no existían en forma original, como resultado de una actividad realizada por el hombre (García y Romero 1999).

El término “carga animal” se refiere al número de animales que pastorean un sitio dado por un tiempo determinado. La carga animal óptima se define como aquella en la que la producción de carne o leche por hectárea es la máxima sostenible.

Para lograr esto, es necesario lograr el equilibrio entre el número de animales pastoreando y la capacidad del agostadero para mantener ese número de animales, logrando un pastoreo “óptimo” y conservando en forma sostenible este sistema de producción. El pastoreo óptimo o adecuado lo representa Mott (1960) esquemáticamente como se muestra en la Figura 1, donde la línea continua representa la ganancia por animal y la línea punteada la ganancia por hectárea.

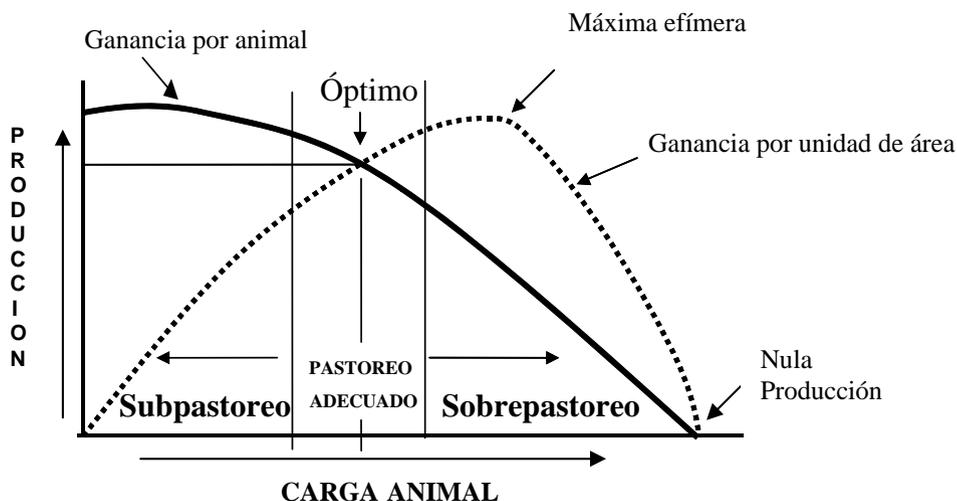


Figura 1. Esquema del pastoreo adecuado en función a la carga animal (Mott, 1960)

La producción por animal alcanza su máximo nivel cuando la carga animal es baja en relación a la producción de forraje (subpastoreo), conservando este nivel de ganancia hasta que la carga animal se ha elevado a tal grado que comienza la competencia por forraje entre los animales. En contraste, la ganancia por hectárea es baja cuando se tiene

una carga animal baja, elevándose en la medida en que se incrementa la carga animal. Sin embargo, existe un punto límite, el que comienza a disminuir debido a la gran cantidad de animales, mismos que ya no pueden satisfacer sus requerimientos alimenticios por la competencia generada por el exceso de ganado (sobrepastoreo); a partir de este punto, si se continúa aumentando el número de animales por hectárea, la ganancia disminuirá hasta hacerse nula o casi nula.

El óptimo se alcanza cuando las dos líneas se cruzan; ese es el punto en donde el pastoreo permite tener una producción animal suficiente para obtener ganancias por hectárea elevadas, sin deterioro de los recursos.

6. CAPACIDAD DE CARGA DEL AGOSTADERO

En un agostadero es posible estimar la capacidad que tiene para mantener en forma sostenible un cierto número de cabezas de ganado en función a la cantidad de forraje disponible. La Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), a través de la Comisión Técnico-Consultiva para la Determinación de Coeficientes de Agostadero (COTECOCA), tiene a disposición de los usuarios los Coeficientes de Agostadero de cada uno de los estados de la República Mexicana, expresado como el número de hectáreas necesarias para mantener una Unidad Animal (vaca de 450 kg. con su cría) durante un año (Jaramillo, 1986)

A través de este coeficiente es posible determinar la Capacidad de carga de un potrero, esto es, que es posible calcular el número de animales que pueden pastorear un sitio, asegurando que alcanzarán a llenar sus requerimientos alimenticios en forma adecuada permitiendo obtener una producción elevada sin deterioro del agostadero.

La carga animal es un término que se refiere al número de animales que pueden pastorear en un potrero por un período de tiempo dado. El cálculo de este parámetro es esencial para la planeación de cualquier sistema de pastoreo. Relacionando el Coeficiente de Agostadero, la superficie y el tiempo de permanencia del ganado es posible estimar la capacidad de carga animal. A manera de ejemplo, a continuación se desarrollan los pasos para su estimación.

Asumiendo que se tiene un sitio de pastizal mediano abierto (con predominancia de gramíneas), una superficie de 1000 ha de condición regular, un Coeficiente de Agostadero de 12 ha/UA/año (dato obtenido de COTECOCA) y se pretende alimentar ganado bovino. La capacidad de carga será la siguiente:

Superficie del potrero	= 1,000 ha.
Coeficiente de Agostadero	= 12 ha/UA/año.
Permanencia en el potrero	= 365 días.
Capacidad de carga: $1,000/12$	= 83 UA / año.
Capacidad de carga del potrero	= 83 vacas adultas/año.

Existe otra forma más recomendable para determinar la carga animal, la cual se basa en el muestreo de la cantidad de forraje que se produce realmente en el potrero y se relaciona con los requerimientos diarios del ganado. A continuación se muestra un ejemplo con los mismos datos.

Superficie del potrero:	= 1,000 ha
Producción de forraje / m ²	= 45 g de materia seca (MS)
Producción / ha = $45 \text{ g} \times 10,000 \text{ m}^2$	= 450 kg de MS / ha
Forraje total del potrero de 1000 ha	= 450 ton de MS
Intensidad de defoliación recomendable	= 90%

Cantidad de forraje disponible	= 405 ton de MS
Tiempo de permanencia en el potrero	= 1 año (365 días)
Requerimiento diario de una vaca adulta	= 450 kg x 3% = 13.5 kg de MS
Requerimiento anual de una vaca adulta	= 4927.5 kg de MS.
Capacidad de carga del potrero	= 405 ton / 4.9275 ton
	= 82 UA / año
Capacidad de carga en las 1000 ha	= 82 vacas adultas / año.

Todos los cálculos se llevan a cabo con base en Materia seca, ya que es cuando el forraje mantiene un peso constante ya que si se considera el peso en verde, se tendrán variaciones constantes en los pesos de las muestras, debido a los diferentes niveles de humedad que tienen los pastos antes de secarse completamente. Se deben realizar varios muestreos por cada tipo de vegetación.

La Unidad Animal tiene equivalencias para diferentes tipos de ganado, por ejemplo, a los ovinos les corresponde de 0.10 a 0.20 de UA, esto es que se pueden mantener de 5 a 10 ovinos con el forraje necesario para mantener una vaca adulta, esta variación va a depender del peso real de los ovinos (Cuadro 1).

Siguiendo con el ejemplo anterior es posible calcular el número de ovinos que pueden pastorear en el mismo potrero de 1000 ha.

Requerimiento diario de un ovino adulto: 50 kg x 3 % = 1.5 kg de MS

Requerimiento anual de un ovino adulto: 547.5 kg (MS)

Capacidad de carga del potrero: 405 ton / 547.5 kg = 740 ovinos / año.

Cuadro 1. Equivalencias de Unidad Animal

ESPECIE ANIMAL	EQUIVALENTE DE UA
Vaca adulta con becerro	1.00
Toro maduro	1.25
Novillo de menos de un año	0.50
Oveja con cría	0.20
Cabra adulta	0.20
Equino adulto	1.25

Fuente: Huss y Aguirre, 1979

Es importante considerar la conveniencia de establecer un sistema de pastoreo rotacional para que la producción animal sea sostenible en el tiempo. En ese caso, además de los cálculos anteriores se requiere estimar el tiempo de permanencia en cada potrero de acuerdo a la disponibilidad de forraje. Por ejemplo, si se recomienda una carga de 740 ovinos en un año, entonces es posible mantener 1480 ovinos durante seis meses (180 días), o 2960 ovinos en tres meses. Para un manejo adecuado del agostadero, es indispensable que el productor no exceda la cantidad de cabezas de ganado que puede mantener el agostadero a fin de lograr una alta productividad ganadera, sostenible y en congruencia con la conservación de los recursos naturales.

7. LA CONDICIÓN DEL PASTIZAL Y SU MANEJO

En función de la cobertura vegetal, el agostadero puede ser clasificado en seis tipos de condición (Cuadro 2). Cuando la condición actual de los agostaderos es de regular a buena, el manejo de la carga animal, el control de la frecuencia del pastoreo y el tiempo de permanencia del ganado en el potrero pueden ser suficientes para alcanzar un estado de productividad sostenible y económicamente rentable; sin embargo,

cuando la condición es pobre o muy pobre, se deben realizar acciones de rehabilitación, de las cuales se hablará más adelante.

Cuadro 2. Condición del pastizal basada en la cobertura vegetal

COBERTURA (%)	CONDICIÓN
91 -100	Excelente
81 - 90	Muy buena
61 - 80	Buena
36 - 60	Regular
16 - 35	Pobre
0 - 15	Muy pobre

Fuente: Huss y Aguirre, 1979

En forma general para manejar, conservar y mejorar el pastizal se recomiendan las siguientes acciones:

- Respetar el coeficiente de agostadero y ajustarse a la carga animal óptima.
- Elegir la especie animal adecuada, de acuerdo al tipo de vegetación, clima y topografía.
- Elección de un sistema de pastoreo rotacional.
- Distribución de agujajes en el agostadero en la forma más uniforme posible.
- Eliminar el exceso de carga animal improductiva (equinos).
- Establecer cercos perimetrales y divisionales.
- Utilizar saladeros y bloques nutricionales como suplemento y como herramienta para lograr una mejor distribución del pastoreo.
- Dar a las plantas del pastizal la oportunidad de recuperación a fin de que produzcan semilla y se lleve a cabo la resiembra en forma natural.
- Controlar plantas indeseables y tóxicas.

8. SISTEMAS DE PASTOREO

El objetivo central de los sistemas de pastoreo es lograr el óptimo aprovechamiento del forraje disponible en el agostadero o pradera mediante el consumo por el ganado, de una manera uniforme, sin detrimento de las áreas de apacentamiento, evitando la selectividad del ganado y las áreas de castigo, como ocurre con la concentración del ganado cerca de los aguajes.

Sistema de pastoreo continuo

Este tipo de utilización en realidad no es un sistema como tal ya que no se tiene ningún control sobre el número de animales que se encuentran en pastoreo ni de la producción de forraje y su condición, lo cual generalmente provoca el sobrepastoreo. Puede ser adecuado, si se respetara la capacidad de carga.

Sistema de pastoreo rotacional

El sistema de pastoreo rotacional, implica la programación y uso de los recursos del pastizal a través del ganado por un período de tiempo predeterminado, alternado con períodos de recuperación, en los cuales el ganado no consume a las plantas y éstas tienen oportunidad de volver a desarrollarse. El pastoreo rotacional presenta varias modalidades entre las cuales se encuentran las siguientes:

- Pastoreo rotacional simple
- Sistema rotacional con descanso
- Rotación con descanso estacional
- Pastoreo rotacional con X número de potreros
- Pastoreo rotacional diferido
- Pastoreo en franjas

- Manejo holístico de los recursos

En cualquiera de estas modalidades, se cumple el principio básico de períodos más o menos prolongados de uso y recuperación o crecimiento de la especie forrajera. Un esquema general del pastoreo rotacional se presenta en la Figura 2.

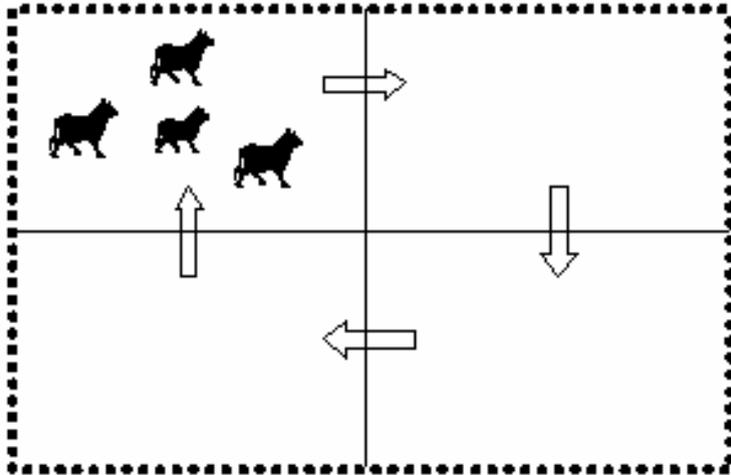


Figura 2. Esquema general del Pastoreo Rotacional

Para lograr un pastoreo rotacional son necesarios los siguientes pasos:

- *Circular completamente el agostadero;* esto es indispensable para iniciar cualquier programa de manejo.
- *Determinar la superficie total del agostadero y su condición.*
- *Ubicar las fuentes de agua.*
- *Definir el número de potreros en que se dividirá el agostadero;* esto estará en función a la superficie del terreno, su condición actual y la disposición y ubicación de las fuentes de agua.

- *Determinar la capacidad de carga de cada potrero.*

Rara vez los potreros poseen la misma CCA, sin embargo, la cantidad de ganado en un rancho permanece más o menos estable. Esto obliga a compensar las distintas CCA con diferentes tiempos de pastoreo. De esta forma, los potreros con menor CCA deberán ser pastoreados por periodos más cortos. Para explicar el procedimiento de estimación del tiempo de pastoreo de cada uno de los potreros de un rancho, utilizaremos un ejemplo hipotético.

Suponiendo un rancho de 1000 ha con un Coeficiente de Agostadero promedio de 11.5 ha/UA/año. El rancho está dividido en cinco potreros que presentan diferente capacidad de carga (10, 15, 18, 20 y 24 UA/año). La carga total del rancho se calcula sumando la capacidad de cada potrero, es decir 87 UA/año. Para estimar el tiempo de pastoreo de cada potrero basta dividir la capacidad de cada potrero entre la capacidad total y multiplicar el resultado por 365 días. Así, en el primer potrero el tiempo de pastoreo será igual a $10 \div 87 = 0.115 \times 365 = 41.9$ días, es decir, que el ganado permanecerá en ese potrero durante 42 días. Los cálculos para los demás potreros son como sigue:

Cuadro 3. Cálculo de los días de pastoreo en cinco potreros

Potrero	CA*, (UA/año)	CA* ÷ 87	× 365	Días de pastoreo
1	10	0.115	41.9	42
2	15	0.172	62.9	63
3	18	0.207	75.5	75
4	20	0.229	83.6	84
5	24	0.276	100.7	101
Total	87	1	364.6	365

* CA= Carga Animal

9. REHABILITACIÓN DE AGOSTADEROS

Quando las acciones de manejo no son suficientes para mantener el agostadero en buena condición, quedan dos vías a seguir, una es esperar a que el proceso de sucesión ecológica permita la recuperación del sitio, lo cual no es muy lento y generalmente no rentable. La segunda es inducir, mediante técnicas de rehabilitación y/o mejoramiento, una recuperación paulatina del agostadero a fin de incrementar su productividad y la conservación de los recursos naturales (Sosebee, 1994).

9.1. Prácticas de resiembra

En aquellos sitios en los que la condición del agostadero es muy pobre (con menos del 15% de plantas deseables) es necesario recurrir a técnicas de rehabilitación de pastizales a través de la resiembra de gramíneas y el establecimiento de arbustivas forrajeras con apoyo de estructuras de retención de humedad.

Antes de iniciar cualquier programa de rehabilitación es recomendable realizar un diagnóstico particular del predio, que incluye el

análisis de la condición actual, la elección de estrategias y la aplicación de técnicas adecuadas. El restablecimiento de la vegetación en los pastizales no puede ser aplicado indistintamente en cualquier sitio, por ello se requiere ese diagnóstico. Se sabe que la modificación de la cobertura vegetal a través del restablecimiento de la vegetación, mediante prácticas de conservación de suelo y agua, incrementan la infiltración del agua en el suelo y por lo tanto se incrementa la productividad de sitios del pastizal (Loredo *et al.*, 2000).

La resiembra de gramíneas y el establecimiento de arbustos forrajeros constituyen en algunos sitios la única opción viable para el restablecimiento de la productividad, aunque implican un alto riesgo y son prácticas costosas. Por eso deben considerarse como la última opción para rehabilitar un sitio del pastizal. Sin embargo, cuando se llevan a cabo con éxito, pueden incrementar la producción de forraje en más del 100% lo cual justifica su aplicación.

Selección de sitios para la resiembra

En agostaderos se habla siempre de “resiembra” porque se asume que en un tiempo la superficie estuvo cubierta de pastos. Por resiembra se entiende al proceso de establecer vegetación por medio de la diseminación de semillas. Los objetivos de la resiembra deben estar orientados a incrementar la producción de forraje, controlar la erosión e inducir el mejoramiento del pastizal.

También se pueden realizar siembras de pastos para incorporar tierras agrícolas a la producción pecuaria, en cuyo caso se habla de praderas. De acuerdo a Aizpuru (1982), pradera es un área cercada, pequeña, establecida por el hombre y en la que por medio de técnicas agronómicas como siembra, fertilización y sobre todo riego, se puede dar a

estas áreas un uso intensivo. Una pradera artificial, es aquella área sembrada directamente por el hombre, cercada, pequeña, con alto grado de artificialización como por el riego, la fertilización y las prácticas culturales (Hughes *et al.*, 1975).

A continuación se enlistan las características que deben presentar los sitios a resembrar en condiciones de temporal:

- Suelos profundos (de preferencia, más de 50 cm).
- Pendientes suaves (menores al 10%).
- Preferentemente en sitios donde se tengan escurrimientos superficiales.
- Áreas del pastizal indebidamente abiertas al cultivo.
- Sitios en los que predominen poblaciones de plantas indeseables.
- En general, en aquellos sitios con la mayor probabilidad de éxito.

Selección de especies para la resiembra

Las especies a utilizar pueden ser nativas o introducidas, gramíneas o arbustivas. La ventaja de las nativas es que se fomenta una sucesión ecológica, pero suele ser muy lento el proceso de recuperación. Las especies introducidas tienen ventajas, sin embargo, existe el riesgo de que no se adapten al sitio (sobre todo en el establecimiento), de que no alcancen a expresar todo su potencial y sobre todo a que es posible (aunque poco probable) que hubiera una plaga o enfermedad que los eliminara completamente a no tener las defensas naturales con que cuentan las especies nativas.

Es necesario considerar en primera instancia la propagación de especies forrajeras nativas, con el fin de reestablecer las especies que cuentan con todas las ventajas que les da su condición de nativas. No obstante, existen problemas al tratar de rehabilitar el agostadero con especies nativas, ya que es difícil conseguir semilla de estas especies en

el mercado, su establecimiento es lento y generalmente son productivamente inferiores a las especies introducidas.

La selección de la especie vegetal susceptible de ser considerada en la resiembra de un sitio en particular, debe con cumplir las siguientes características:

- Adaptada al sitio.
- Tolerante a la sequía.
- Productividad alta.
- Valor nutritivo alto.
- De fácil establecimiento.
- Agresiva (no invasora).
- Resistente al pastoreo.
- Buena aceptabilidad por el ganado.

Las especies que han mostrado ser sobresalientes para incrementar la producción de forraje en las zonas áridas y semiáridas se presentan en el Cuadro 4.

Un aspecto que se debe tomar en cuenta, es la disponibilidad de semilla en el mercado en cantidad suficiente para efectuar la resiembra. En general, es difícil encontrar semilla de especies nativas, por ello se ha estado recurriendo a especies introducidas, de las cuales es posible obtener cantidades suficientes, que en su mayoría son de importación. Actualmente en México la demanda de semillas de plantas forrajeras se ha incrementado y existe la necesidad de producirlas.

Cuadro 4. Principales especies recomendadas para la rehabilitación de agostaderos de zonas áridas y semiáridas

Tipo	Origen	Nombre común	Nombre técnico
Gramínea	Nativa	Banderilla	<i>Bouteloua curtipendula</i>
Gramínea	Nativa	Navajita	<i>Bouteloua gracilis</i>
Gramínea	Nativa	Gigante	<i>Leptochloa dubia</i>
Gramínea	Nativa	Tempranero	<i>Setaria machrostachya</i>
Gramínea	Introducida	Buffel	<i>Cenchrus ciliaris</i>
Gramínea	Introducida	Klein	<i>Panicum coloratum</i>
Gramínea	Introducida	Llorón	<i>Eragrostis curvula</i>
Gramínea	Introducida	Rhodes	<i>Chloris gayana</i>
Gramínea	Introducida	Garrapata	<i>Eragrostis superba</i>
Arbustiva	Nativa	Chamizo	<i>Atriplex canescens</i>
Arbustiva	Nativa	Guajillo	<i>Acacia berlandieri</i>
Arbustiva	Nativa	Ramoncillo	<i>Dalea tuberculata</i>
Arbustiva	Nativa	Vara dulce	<i>Eysenhartia polystachya</i>
Arbustiva	Nativa	Mariola	<i>Parthenium incanum</i>
Arbustiva	Introducida	Numularia	<i>Atriplex nummularia</i>
Arbustiva	Introducida	Leucaena	<i>Leucaena leucocephala</i>
Arbórea	Introducida	Morera	<i>Morus alba</i>
Arbórea	Nativa	Mezquite	<i>Prosopis sp</i>

Recomendaciones técnicas para el establecimiento de pastos

Una vez que se ha hecho un detallado diagnóstico del sitio y se tiene la certeza de que la resiembra es la mejor opción a seguir, es necesario aplicar las técnicas adecuadas, las cuales consisten en lo siguiente:

- **Limpia selectiva del terreno.** Es necesario evaluar la condición del suelo del área que se pretende revegetar ya que de este diagnóstico dependerá el tipo de preparación que se realizará. En algunos sitios habrá la necesidad de realizar previamente una limpia selectiva de especies vegetales, eliminando las plantas indeseables y conservando las deseables que existan. En el norte de México se ha tenido éxito al realizar limpia en franjas (de la vegetación actual, se limpia o desmonta una franja en donde se realiza la resiembra y se deja una franja con la vegetación natural, alternado cada una de ellas).
- **Preparación de la cama de siembra.** Generalmente solo se requiere de un barbecho y un rastreo a fin de que la semilla tenga mayores posibilidades de germinar, sin embargo, cuando el suelo se encuentre muy compactado, se recomienda aplicar un subsoleo a fin de aflojar las capas endurecidas (pueden utilizarse cinceles, arado pata de ganso o el multiarado).
- **Prácticas para la conservación de humedad.** Cualquier actividad de revegetación en las zonas áridas y semiáridas requiere en forma indispensable algún tipo de captación del agua de lluvia para incrementar las posibilidades de éxito ya que la cantidad de humedad llega a ser superior que en sitios expuestos al escurrimiento superficial y a la erosión (Loredo *et al.*, 1993; Fierro, 1981). Las obras de retención de humedad son necesarias, ya que la humedad deficiente es el principal factor limitante para el establecimiento y producción de las especies forrajeras. Las prácticas más comunes y recomendables son: el bordeado en curvas a nivel, el surcado al contorno y el surcado listter.
- **Fecha de siembra.** Las resiembras se deben efectuar al inicio del período de lluvias, en los meses de mayo a agosto. No es conveniente sembrar después del mes de agosto, ya que las heladas tempranas

matan las plántulas, que para entonces no tienen todavía un sistema radical bien desarrollado. Es posible sembrar en seco, antes del período de lluvias, aunque implica un riesgo de pérdida de semillas por insectos, roedores o por el viento.

- **Densidad de siembra.** Dependiendo del tamaño de la semilla, las especies tienen diferentes densidades de siembra. En el cuadro 3 se señalan las densidades de siembra de algunas especies recomendadas para las zonas áridas y semiáridas.

Cuadro 3. Densidad de siembra de algunas especies gramíneas forrajeras

Especie	Semilla pura viable (kg/ha)	Semilla comercial (kg/ha)
Banderilla	5.0	15.0
Navajita	3.0	10.0
Gigante	3.0	10.0
Tempranero	5.0	15.0
Buffel	3.0	12.0
Klein	2.0	5.0
Llorón	2.0	5.0
Garrapata	5.0	15.0
Rhodes	3.0	10.0

- Fuente: Huss y Aguirre, 1979.

Nota: El término de semilla pura viable se refiere a aquella semilla sobre la cual se tiene un control preciso sobre los porcentajes de germinación, viabilidad y pureza.

- **Método de siembra y tapado.** La realización de estas actividades depende de la maquinaria disponible y del tamaño de la superficie a rehabilitar ya que se puede utilizar desde la siembra al voleo en forma manual hasta la siembra con una sembradora para granos pequeños (ie. Brillion). El tapado de la semilla debe ser muy ligero; se recomienda

no enterrar la semilla más del equivalente a siete veces su tamaño. En general esta práctica se realiza mediante el paso de una “rastra” de ramas.

9.2. Prácticas mecánicas

Todas aquellas áreas donde no es posible la recuperación a corto plazo debido a lo abrupto del terreno pero que son sitios de pastoreo, se deben recuperar paulatinamente a través del establecimiento de algunas prácticas mecánicas de conservación de suelo y agua. Para rehabilitar este tipo de agostaderos, se recomienda recurrir a prácticas mecánicas tales como tinas ciegas o bordos en curvas a nivel (descritos en el capítulo 4), con el establecimiento aguas arriba del bordo de arbustivas forrajeras, maguey o nopal. También es recomendable la construcción de presas filtrantes para el control de azolves, las cuales son estructuras de piedra acomodada, que se construyen de manera escalonada desde la parte alta de las cárcavas, a fin de detener el suelo que acarrear los escurrimientos.

10. DISTRIBUCION DE FUENTES DE AGUA

Cuando se trata de agostaderos de grandes dimensiones, un factor que limita el pastoreo uniforme de los sitios más alejados o de más difícil acceso, es la disponibilidad de agua para que abreve el ganado. Para lograr una mejor distribución del pastoreo será necesario la construcción o reparación de bordos de almacenamiento estratégicamente ubicados.

La distribución de bordos de almacenamiento para abrevadero es una herramienta muy útil en el manejo del ganado; para que una fuente de agua (abrevadero, bebedero, jagüey, etc.) provea del vital líquido al ganado en forma adecuada, no deberá exceder de cuatro kilómetros de

distancia entre una y otra, ya que si esta distancia se excede, habrá pérdidas de peso del ganado por el gasto de energía utilizado en llegar a la fuente de agua.

Se recomienda establecer una red hidráulica para abastecer a todos los potreros, ya sea aprovechando los escurrimientos superficiales a través de la construcción o rehabilitación de abrevaderos o bien, si se tiene algún pozo, planear una distribución de bebederos conduciendo el agua por tubería. Sin embargo, una red hidráulica de esta naturaleza suele ser costosa, por lo que deberá considerarse la relación costo-beneficio a fin de evaluar la conveniencia de su establecimiento.

11. SUPLEMENTACIÓN

Cuando la producción de forraje en el agostadero no se mantiene uniforme durante todo el año debido a las condiciones climáticas propias de las zonas áridas (heladas y períodos largos de sequía), así como al comportamiento que muestran las diferentes especies que conforman la comunidad vegetal, existe la necesidad de contar con otras fuentes de alimentación que sirvan de apoyo durante las épocas críticas de escasez forrajera. El ganadero debe prever esta situación con tiempo y recurrir a estrategias que le solucionen este problema. Un buen manejo del ganado implica la planeación de acciones a corto, mediano y largo plazo. Existen varias maneras de cubrir los requerimientos del ganado durante este período crítico:

- **Compra de forraje.** Se refiere a la adquisición de pacas generalmente de alfalfa achicalada, de excelente valor nutricional pero con el inconveniente de ser un forraje muy costoso.

- **Producción de forrajes de corte en riego.** Es la mejor forma de hacer frente al período crítico ya que se tiene la oportunidad de planear el volumen de forraje a producir en función del número de animales a mantener y por el período de tiempo necesario. El cultivo de la alfalfa es el más deseable, sin embargo, hay que considerar que es una especie que demanda gran volumen de agua y en el Altiplano Potosino es lo que más falta. Se puede pensar en la producción de maíz y sorgo forrajeros con el propósito de ensilarlos y de esta manera quedar disponibles para cuando sean necesarios.
- **Producción de forrajes de corte en temporal.** De manera similar al anterior, es posible planear el volumen de forraje a producir de acuerdo a sus propias necesidades. Existen dos formas principales de aprovechar los forrajes de corte en temporal; una es a través de la producción de maíz y/o sorgo forrajero, los cuales pueden ser ensilados en verde, produciendo un forraje de excelente calidad. Otra opción es la producción de heno de avena y cebada, los cuales una vez empacados, pueden ser beneficiados a través de la aplicación de amoniaco anhidro o urea, para elevar su valor nutricional.
- **Utilización de esquilmos agrícolas.** Otra manera de alimentar al ganado en la época crítica es hacer uso de los esquilmos de maíz (rastrojo), frijol (tazol), pata de sorgo (remanente del sorgo para grano) y residuos (paja) que quedan en el área de cultivo. Esta se considera como una fuente de forraje muy pobre, dado su baja calidad. Sin embargo, con este material se preparan mezclas molidas, añadiéndoles algunos aditivos como melaza, urea, gallinaza, harina de pescado o cualquier otro producto a fin de obtener un buen alimento.
- **Utilización de recursos naturales del agostadero.** La fuente de forraje más barata es el agostadero, recurrir a este, aún en épocas

críticas, puede reducir considerablemente los costos de producción. En el agostadero se produce una gran diversidad de especies con características diferentes, debido a esto, aún en épocas críticas, es factible encontrar forraje proveniente de algunas especies tolerantes a heladas y a sequías extremas. Tal es caso de varias arbustivas forrajeras, las cuales permanecen verdes durante todo el año (Costilla de vaca, Mariola, Budleya, Ramoncillo, etc.). El maguey picado y el nopal chamuscado constituyen para algunos ganaderos una fuente de forraje durante este período, sin embargo, no es un forraje de alto valor nutritivo; se puede complementarse con algún concentrado, heno o mezclas para satisfacer los requerimientos del ganado. Otras fuentes de alimento pueden ser la vaina del mezquite y la flor de la yuca.

12. LITERATURA CITADA

1. Aizpuru, G. E. 1995. Relaciones entre el ganado y el pastizal. Temas de actualidad en Manejo de Pastizales. Sociedad Mexicana de Manejo de Pastizales (SOMMAP). Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coah. México. pp 63– 74.
2. Aizpuru, G. E. 1982. Apuntes del curso de Manejo de Pastizales avanzado. Maestría en Manejo de Pastizales. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coah. México. 178 p.
3. Beltrán L. S. y C. Loredó O. 1996 Establecimiento y producción de dos gramíneas forrajeras con prácticas mecánicas en temporal deficiente. III Reunión Nacional sobre Sistemas de Captación de Lluvia. San Luis Potosí, S. L. P. México.
4. Beltrán L. S., A. Hernández G., E. García M., J. Pérez P., J. Kohashi S., J. G. Herrera H., A. Quero C., S. González M. 2005. Efecto de la altura de corte en el crecimiento y rendimiento del pasto buffel (*Cenchrus ciliaris* L.) en un invernadero. *Agrociencia*: 39 (1). 137 - 147.

5. Beltrán L. S., A. Hernández G., J. Pérez P., E. García M., J. Kohashi S., J. G. Herrera H. 2002. Respuesta fisiológica del pasto buffel (*Cenchrus ciliaris* L.) a diferentes alturas de defoliación. *Agrociencia*: 36 (5). 547-556.
6. Cantú, B. J. E. 1990. Manejo de pastizales (revisión bibliográfica). Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Unidad Laguna. Torreón, Coah. 290 p.
7. Chapman D. F. and G. Lemaire. 1993 Morphogenetic and structural determinants of plant resgrowth after defoliation. *Proceedings of the XVII International Grassland Congress*. P. 95 - 104.
8. COTECOCA 1974. Coeficientes de agostadero para el estado de San Luis Potosí. México.
9. De Alba, J. 1971. Alimentación del ganado en América Latina. La prensa Médica Mexicana. México, D. F. 336 p.
10. Fierro L. C. 1981 Water catchment practices for range seeding in the arid/semiarid lands of Northern Mexico. In: *Rainfall collection for agriculture in brid and semiarid regions*. C. A. B Slough, England.
11. García, M. E. y Romero, M. A. 1999. Apuntes del curso Ecología de Agostaderos. Especialidad de Botánica. IRENAT. Colegio de Postgraduados. Texcoco, Estado de México. 195 p.
12. Hernández G. A. 1995 Defoliation management, tiller density and productivity in perennial rye grass swards. PhD. Thesis. Massey University, New Zealand. 228 p.
13. Hodgson J. 1990 Grazing management. Science into practice. Longman Scientific & Technical. Harlow, England. 204 p.
14. Hughes, M. D., Heath M. G. and Metcalfe R. B. 1975. Forrajes. 3a edición. Editorial CECSA. México.
15. Humphrey, R. R. 1962. Range ecology. The Ronald Press Company. New York. U. S. A.
16. Huss, D. L. y Aguirre, E. L. 1979. Fundamentos del Manejo de Pastizales. Instituto de Estudios Tecnológicos Superiores de Monterrey. (ITESM). Monterrey, Nuevo León. México.

17. Jaramillo, V. V. 1986. La importancia de los Coeficientes de Agostadero y de las gramíneas en el manejo de los agostaderos del país. Memorias del primer Congreso de Manejo de Pastizales. UAAAN. Saltillo, Coah., México. pp 8 – 15.
18. Loredó O. C., Beltrán L. S. 1998 Reconversión de áreas agrícolas marginales a uso pecuario con módulos forrajeros. Folleto técnico No. 10. INIFAP – CIRNE. S. L. P.
19. Loredó O. C., Beltrán L.S. y J. Villanueva D. 1993a Relación área siembra - área escurrimiento en el establecimiento y producción de zacate Buffel (*Cenchrus ciliaris*). Folleto técnico No. 5 INIFAP-CIRNE-S.L.P.
20. Loredó O. C., S. Beltrán L. y G. Vázquez U. 2000. Producción de sedimentos en una pradera de pasto buffel (*Cenchrus ciliaris*) en el Altiplano Potosino. In: Quintero L.,R., T. Reyna T., L. Corlay Ch., A. Ibáñez H. y N. García C. Eds. La edafología y sus perspectivas al siglo XXI. Tomo I. p 181-185.
21. Matthew C., G. Lemaire, N.R. Hamilton and A. Hernández G. 1995 A modified self-thinning equation to describe size/density relationships for defoliated swards. *Annals of Botany*. Vol. 76 : 579 - 587.
22. Mott G. O. 1960 Potential productivity of temperate and tropical grassland systems. *Proceedings of the XIV International Grassland Congress*. P. 35 - 41.
23. Negrete, R. L. S., Jurado, P. G., Arredondo, J. T., García, H. M. R. y Rodríguez, D. M. J. 1986. Evaluación de especies forrajeras nativas e introducidas bajo condiciones del Altiplano central. Memorias del primer Congreso Nacional de Manejo de Pastizales. UAAAN. Saltillo, Coah. México. pp 52 – 55.
24. Richards J. H. 1993 Physiology of plants recovering from defoliation. In : Hernández G.A. 1995 Defoliation management, tiller density and productivity in perennial rye grass swards. PhD. Thesis. Massey University, New Zealand. 228 p.
25. Society for Range Management. 1974. Range term Glossary Committee. A glossary of terms used in range management. Kothmann M. M. (ed). Denver, Colorado. U. S. A. 36 p.
26. Sosebee E. Ronald 1994 Consideraciones ecológicas para la rehabilitación de pastizales de zonas áridas y semiáridas. Conferencia Magistral en: X

- Congreso Nacional sobre Manejo de Pastizales. SOMMAP. Monterrey, N.L. México. P. 9 - 14.
27. Stoddart, S. A., Smith, A. D. and Box, T. M. 1975. Range management. Mc. Graw Hill Book Company. Inc. New York, U.S.A. 532 p.
28. Urrutia M. J., Ochoa C. A., Beltrán L. S. 2000 Ovinocultura de agostadero en el norte de México. Prácticas de manejo y mejoramiento. Facultad de Agronomía. U. A. S. L. P.

Esta publicación se imprimió con recursos del proyecto **1425946F** “**Conservación del suelo y agua en microcuencas de San Luis Potosí**”, financiado por la Comisión Nacional de las Zonas Áridas (CONAZA).

En el proceso editorial de esta publicación colaboraron:

Edición:

Dra Catarina Loredo Osti

Revisión Técnica:

Dr. Manuel Mora Gutiérrez, Dr. Néstor Francisco Nicolás,
Dr. Jorge Elizondo Barrón y M.C. José Luis Barrón Contreras

Fotografía en la portada:

Dr. Sergio Beltrán López, Dr. Miguel Angel Martínez Gamiño, Dr. Eusebio
Ventura Ramos, Dra. Catarina Loredo Osti

Comité Editorial del Campo Experimental San Luis

Dr. Jorge Urrutia Morales	Presidente
Dra. Catarina Loredo-Osti	Secretario
Dr. Sergio Beltrán López	Vocal
Dr. José Antonio Hernández Alatorre	Vocal
Dr. Cesario Jasso Chaverría	Vocal
Dr. Miguel Angel Martínez Gamiño	Vocal
M.C. Andrés Ramiro Córdova	Vocal
Biól. Alberto Arredondo Gómez	Vocal
Ing. Javier Luna Vázquez	Vocal

SAGARPA-INIFAP-CIRNE
Campo Experimental San Luis
Km. 14.5 Carr. San Luis Potosí, Matehuala
Tel y Fax (444) 8524303
Oficinas: Av. Santos Degollado 1015-C
Col. Cuauhtémoc, CP 78270; San Luis Potosí, SLP
Tel: (444) 8139151 y Fax (444) 8137923

Esta obra se terminó de imprimir en Octubre de 2005
Tiraje: 500 ejemplares

