

PRÁCTICAS DE RESTAURACIÓN DE SUELOS PARA LA CONSERVACIÓN DEL AGUA



**GOBIERNO
FEDERAL**

SAGARPA

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

inifap

Instituto Nacional de Investigaciones
Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Miguel Agustín Velásquez Valle

Abraham de Alba Ávila

Ramón Gutiérrez Luna

Gerardo García Espino



Centro de Investigación Regional Norte Centro
Campo Experimental Zacatecas
Diciembre de 2012
Folleto Técnico Núm. 46, ISBN: 978-607-425-961-2

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

LIC. ENRIQUE MARTÍNEZ Y MARTÍNEZ
Secretario

MSc. MARIANO RUIZ-FUNES MACEDO
Subsecretario de Agricultura

ING. IGNACIO RIVERA RODRÍGUEZ
Subsecretario de Desarrollo Rural

ING. ERNESTO FERNÁNDEZ ARIAS
Subsecretario de Alimentación y Competitividad

MSc. JESÚS ANTONIO BERUMEN PRECIADO
Oficial Mayor

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

DR. PEDRO BRAJCICH GALLEGOS
Director General

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

MSc. ARTURO CRUZ VÁZQUEZ
Coordinador de Planeación y Desarrollo

LIC. MARCIAL A. GARCÍA MORTEO
Coordinador de Administración y Sistemas

CENTRO DE INVESTIGACIÓN REGIONAL NORTE CENTRO

DR. HOMERO SALINAS GONZÁLEZ
Director Regional

DR. URIEL FIGUEROA VIRAMONTES
Director de Investigación

DR. JOSÉ VERÁSTEGUI CHÁVEZ
Director de Planeación y Desarrollo

LIC. DANIEL SANTILLÁN AGUILAR
Director de Administración

Dr. Francisco G. Echavarría Cháirez
Director de Coordinación y Vinculación en Zacatecas

PRÁCTICAS DE RESTAURACIÓN DE SUELOS PARA LA CONSERVACIÓN DEL AGUA

*Dr. Miguel A. Velázquez Valle¹
M. Sc. Abraham de Alba Ávila²
Ph.D. Ramón Gutiérrez Luna³
M. C. Gerardo García Espino⁴*

INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, el interés por los procesos de desertificación ha sido plasmada desde la creación de la convención de las Naciones Unidas para combatir la desertificación (UNCCD, 2012), naciendo de las preocupaciones de la reunión de Río en 1992. Sin embargo, es claro que la preocupación ha sido más antigua (Conferencia Internacional para Combatir la Desertificación, celebrada de Agosto a Septiembre de 1977 en Nairobi, Kenia) y solo recientemente matizada por el posible impacto del cambio climático. Las regiones semiáridas del mundo alcanzan a cubrir el 45% del planeta, donde el Índice de Aridez (precipitación anual/Evapotranspiración potencial) oscila entre 0.05 y

¹ Investigador del CENID-RASPA.INIFAP. Km. 6.5 Margen derecha Canal Sacramento.35140. Gómez Palacio, Dgo. MEXICO. <e.mail: velasquez.agustin@inifap.gob.mx>

² Investigador del Campo Experimental de Pabellón. Km. 32.5 Carr. Ags-Zac. 20660. Pabellón de Arteaga, Ags. MEXICO.

³ Investigador del Campo Experimental de Zacatecas. Km. 24.5 Carr. Zac-Fresnillo. 98500. Calera de Víctor Rosales, Zac. MEXICO.

⁴ Investigador del Campo Experimental La Laguna. Bvrd. Jesús Santos Valdéz N^o 1200 Col. Mariano Matamoros.27440. Matamoros, Coah. MEXICO.

0.65 (UNCCD, 2012). Lo que es especialmente notable es que estas regiones también albergan el 33.8 % de la población, de estas el 29.7 % viven en pastizales y agostaderos de las zonas semiáridas y sub-húmedas secas (UNCCD, 2012). En términos del tema más actual sobre el cambio climático es relevante anotar que estas zonas “secas” (drylands) contienen el 46% del carbono del inventario planetario (UNCCD, 2012).

El proceso de desertificación.

En un contexto global, se ha pasado de hablar de desertificación a hablar de degradación del suelo, con lo que se pretende llamar la atención a que no es solamente un proceso físico de erosión hídrica o eólica, sino también una degradación biológica puesto que ahora el perfil como ecosistema se pauperiza en sus comunidades bióticas, de tal manera que ahora se habla de una “salud” del suelo que enmarca el discurso de la sustentabilidad (UNCCD, 2008). Así, la **degradación** de la tierra es una pérdida a largo plazo de función y servicios del ecosistema causada por alteraciones de las que no se puede recuperar por sí misma. Cuando sus efectos se presentan en ecosistemas bajo condiciones de aridez se

emplea el término de **desertificación**. Desafortunadamente, en las regiones de las zonas áridas y semiáridas en nuestro país, el incremento de la superficie afectada por el proceso de **desertificación** dificulta las condiciones para que prosperen los sistemas de producción basados en la ganadería extensiva.

Este proceso se ha definido como “la degradación de las tierras de zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas, que resulta de factores de origen climático y de actividades humanas, como la deforestación, el sobrepastoreo, la expansión de áreas agrícolas hacia áreas frágiles y la sobreexplotación de vegetación para uso doméstico”(UNCOD, 1977; MEA, 2005).Las causas del anterior escenario van desde el aumento de ocurrencia de sequías (Menocal y Álvarez, 2001; Barrera, 1996), el aumento de demandas de servicios ambientales y económicos por la población y el mal manejo del pastoreo que ha desencadenado lo que comúnmente se denomina sobrepastoreo (ECOPAD, 2007).

Importancia de las zonas áridas y semiáridas

Las zonas áridas y semiáridas cubren el 28.4% y 20.0% de la superficie nacional, respectivamente (Villegas *et al.*, 2001). Otros autores coinciden que estas regiones ecológicas ocupan aproximadamente el 48 % del territorio nacional (SARH, 1978; Jaramillo, 1994; Huntsinger y Starrs, 2006; López-Franco *et al.*, 2006; INE, 2007a).

En nuestro país, en estas regiones la actividad económica más importante y desarrollada es la ganadería extensiva. Por las características ambientales de estas regiones, la ganadería extensiva se realiza en una superficie que abarca entre 85 a 95 millones de hectáreas, las cuales, representan más del 43% de la superficie del territorio nacional (INE, 1994; SAGAR, 1996; Villegas *et al.*, 2001). En otros estudios se señala que ésta actividad se realiza en 147 millones de hectáreas (159,110 km² de pastizal, según Rzedowski, 1990 en CONABIO, 1998; 58 millones ha como agostaderos (según INEGI, 2005 en SEMARNAT, 2011) aunque se estima que el área con actividad ganadera alcanza 133.2 millones ha, (SEMARNAT, 2011) las

cuales, representan el 73% de la superficie del territorio nacional.

Sólo para la parte norte del país, en los estados de Sonora, Chihuahua, Durango, Coahuila, Nuevo León y Tamaulipas, para 1999 la superficie pastoreada corresponde al 29.8% de la superficie nacional (1,967 173 km²) y al 69% de la superficie de éstos estados fronterizos (847, 624 km²) según lo reportado por Villegas *et al* en 2001.

En el anterior escenario, las características que se hacen más recurrentes en los pastizales de las zonas áridas y semiáridas son el registro de sequías cíclicas y la presión del uso del suelo pecuario con un sistema de explotación extensivo (Anaya, 1998). Lo anterior, conlleva a observar en estas regiones un denominador común: el sobrepastoreo.

Se ha documentado que sistemas poco productivos como los que se encuentran en las regiones áridas y semiáridas, al estar fundamentados en suelos con escasa cobertura vegetal y bajos contenidos de materia orgánica, resultan ser más proclives al proceso de desertificación y erosión que otros sistemas más productivos como sitios húmedos y con poca presión

herbívora (Asner *et al.* 2004; Cornelis, 2006; Kefi *et al.* 2007).

La degradación de los recursos naturales de los pastizales en las zonas áridas y semiáridas como una forma de desertificación, es el factor que más afecta a los pastizales en los que se practica ganadería extensiva.

En estas regiones del país, más del 73% de la superficie dedicada al pastoreo presenta diversos grados de erosión y la condición de los pastizales es regular (SEMARNAT, 2011), el 20% se encuentran en una condición de regular a buena y sólo el 5% presentan una condición excelente. Dentro de la Estrategia Nacional Manejo Sustentable de Tierras (SEMARNAT, 2011) se hace una valoración de una sobrecarga animal del 46.2 %. Cabe anotar que la sequía del 2010-2011 puede y va a hacer ajustes de la carga animal que los dueños no han querido hacer, desafortunadamente la recuperación de estos pastizales será muy lenta bajo este esquema hídrico. Aunado a este fenómeno y aparentemente de forma paradójica, no existe suficiente impacto animal sobre la vegetación que permita un reciclaje de nutrientes eficiente (SEMARNAT, 2011) esto es principalmente debido a la baja subdivisión en potreros,

especialmente en la propiedad comunal y ejidal (Menocal y Alvarez, 2001).

En el caso del sobrepastoreo, un pastizal está degradado cuando sus especies clave para su manejo han perdido vigor y capacidad productiva por superficie y consecuentemente son remplazadas por especies indeseables para el ganado (Padilla y Sardiñas, 2005).

Por otro lado, los animales en exceso en los pastizales pisotean y compactan el suelo, consumen la biomasa vegetal que cubre o protege, y esto incrementa el riesgo de erosión hídrica o eólica (Strunk, 2003).

El fenómeno de la sequía

Desde el punto de vista de la lluvia o del clima, se define a la sequía, como una condición natural, que se presenta periódicamente y sus efectos o impactos están directamente relacionados con su duración (INEGI, 2011). En el año 2011, el 40% del territorio nacional registró el peor año con sequía en los últimos setenta años (CNA, 2011).

El grado de afectación en superficie (%) por diferentes categorías de sequía en México para el periodo 2003 a 2012 se presenta en la Figura 1. Se observa en esta figura que en los últimos años el 2006, 2010 y 2011 han registrado sequía excepcional siendo para algunas regiones del norte de México más críticas.

A nivel de entidades, 19 de los 32 estados de la República sufren los efectos de la peor sequía en décadas, entre los que destacan Coahuila, Chihuahua, Durango, San Luis Potosí y Zacatecas (CONAGUA, 2012).

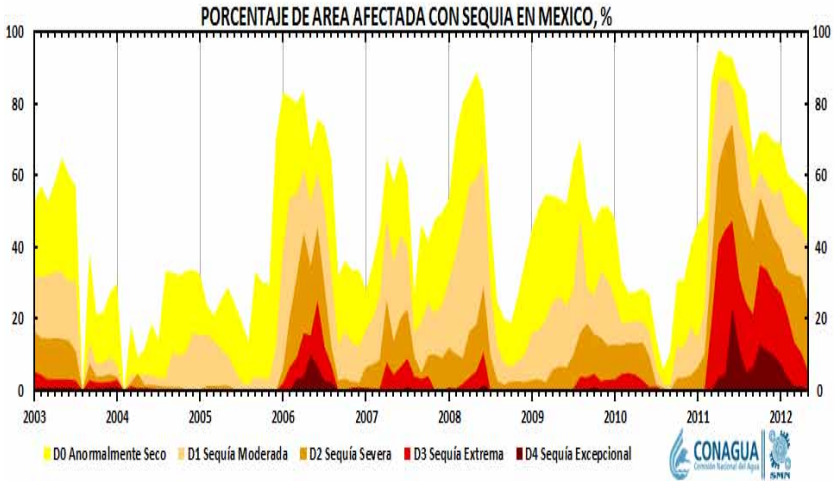


Figura 1.- Cronología del área del país afectada por diferentes grados de sequía.

Fuente: Servicio Meteorológico Nacional

Las causas de la sequía pueden ser varias, entre las que están las siguientes:

- Las manchas solares que alteran la cantidad de energía que llega a la superficie de la Tierra.
- Las alteraciones en la circulación de los vientos generados por la modificación en el albedo superficial.

- Los cambios en la temperatura superficial de los océanos.
- La penetración de vientos templados del oeste.

Existen diferentes tipos de sequía, definiéndose en meteorológica, agrícola e hidrológica, las cuales se describen en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Diferentes tipos de sequías existentes según INEGI, 2011.

TIPO DE SEQUÍA	CARACTERÍSTICAS
Meteorológica (específicas de una región)	<p>Ocurre durante uno o varios meses.</p> <p>Ausencia prolongada de la precipitación.</p> <p>Pobre distribución de la precipitación pluvial.</p>
Agrícola	<p>Ocurre cuando no hay suficiente humedad en el suelo para satisfacer las necesidades mínimas de las plantas, en sus distintas épocas de germinación y crecimiento.</p>
Hidrológica	<p>Ocurre cuando existen insuficiencias en el agua superficial y subterránea.</p>

En lo que se refiere a los factores de origen climático, la sequía que padece la región del norte de México ha sido la más severa que ha ocurrido desde

1941 y ha dejado sin agua a más de 2.5 millones de habitantes debido a la escases de agua. En el sector ganadero se ha estimado que la falta de agua ha causado la muerte de 450 mil cabezas de ganado, según Comunicado de Prensa de la Confederación Nacional Campesina (CNC, 2011).

La falta de lluvia limita el crecimiento de las especies vegetales en los pastizales causando de esta manera poca disponibilidad de forraje para el ganado y la fauna silvestre de este ecosistema. La estacionalidad climática condiciona la cantidad y calidad de los zacates del pastizal o agostadero durante el año; lo que repercute en la disponibilidad de materia seca para el ganado (Ramos *et al.*, 2000).

Aunado al pobre crecimiento de las plantas, el sobrepastoreo logra reducir a una mínima expresión la cobertura vegetal del suelo; lo que facilita la degradación física, química y biológica de los pastizales como parte de la desertificación que sufren los agroecosistemas en la región norte de México (González-Cervantes *et al.*, 2006). Por ello, la sequía y el sobrepastoreo son los principales causantes de la desaparición de la cobertura vegetal del suelo, y posteriormente la pérdida del mismo, tanto por el viento como por los escurrimientos superficiales de agua durante la época de lluvias.

El impacto directo de la sequía en los pastizales es la baja de peso y/o muerte del ganado (Figura 2) limitando de esta manera la rentabilidad y productividad de los mismos.

Objetivo

El propósito de la presente publicación es presentar a los usuarios de las áreas de pastizal una serie de opciones técnicas (prácticas mecánicas y manejo de la vegetación) para mitigar el impacto de la sequía en las áreas de pastizal de los estados de Aguascalientes, Durango y Zacatecas y en otras zonas áridas y semiáridas del país.



Figura 2.- Impacto de la sequía sobre la condición del pastizal y supervivencia del ganado.

Foto: Miguel A. Velásquez Valle

ANTECEDENTES

Impacto de las obras de conservación de humedad.

En épocas pasadas y aún en la actualidad, se siguen abriendo al cultivo muchas tierras cuyo potencial son agostaderos o pastizales. Este error cometido ha traído como consecuencia que los productores año tras año, se enfrenten a pérdidas de cosecha, llegando en la mayoría de los casos a no recuperar lo mínimo invertido. Por lo anterior, es necesario reconvertir esas tierras agrícolas marginales a usos pecuarios con mayor rentabilidad. Sin embargo, la reconversión de tierras de

cultivo marginales a usos pecuarios debe estar sustentada en evaluaciones previas de diferente tipo, una de ellas debe estar enfocada a determinar la sostenibilidad a largo plazo, es decir, que el sistema de producción a establecer debe ser productivo, rentable y sostenible ecológicamente.

En este contexto, la necesidad de establecer y evaluar las prácticas de conservación de humedad en pastizales con condiciones de aridez ha generado una gran cantidad de información sobre el impacto en variables relacionadas con la producción de forraje, hidrología y la conservación de los recursos naturales (Lang, 1979; Sánchez, 1984; Warren *et al.*, 1986a; Warren *et al.*, 1986b; Pluhar *et al.*, 1987; Warren, 1987; Wilcox *et al.*, 1988; Serrato *et al.*, 1999; Giordanengo, *et al.*, 2003; Jasso *et al.*, 2005; Pierson *et al.*, 2007; Mata *et al.*, 2009; Velásquez *et al.*, 2011).

A continuación se presenta una descripción del impacto y beneficios de implementar prácticas de manejo en los pastizales en el contexto de la evasión de la sequía:

a).- Incremento en la disponibilidad de forraje.

La utilización del recurso agua en los pastizales se inicia cuando el agua de lluvia se precipita y cae sobre la superficie del suelo.

El objetivo de implementar **buenas prácticas de manejo** es promover la entrada de agua de lluvia al suelo (*infiltración*) y satisfacer de esta manera las demandas de la planta para su crecimiento y desarrollo (*transpiración*). Los beneficios de aprovechar de una manera eficiente el agua de lluvia son el incremento en la cobertura vegetal y en la disponibilidad de forraje.

La mejor manera de evaluar el uso y la eficiencia del uso del recurso agua es mediante la producción de materia seca o forraje en el pastizal para el ganado.

Los resultados de investigación señalan que en ambientes áridos se ha logrado producir hasta 2000 kilogramos de forraje por hectárea por año al utilizar un sistema de captación de agua de lluvia; mientras que en

condiciones naturales la producción de forraje fue de 200 kilogramos por hectárea por año (Schreiber y Frasier, 1978).

En condiciones similares de aridez, el establecer especies arbustivas para la producción de forraje en surcos al contorno significó un incremento de 25 y 30% con respecto a otro tipo de sistemas de captación de agua de lluvia como microcuencas tipo media luna o en forma de "V" (Saouret *al.*, 2011).

En el Norte Centro de México, la implementación de curvas a nivel para el establecimiento de praderas de zacate buffel (*Pennisetum ciliaris L.*) en matorrales micrófilos de la región de la parte media de la cuenca del Río Nazas, incrementó la producción de materia seca por hectárea hasta 12 veces, comparada con la producción natural promedio de 175 kilogramos por hectárea (COTECOCA, 1979; García *et al.*, 2009).

Bajo condiciones similares de aridez, en la región de Viesca, Coah., Reyes *et al.*, (2002), señalan que con el establecimiento del zacate buffel en curvas a nivel la producción de forraje puede llegar a ser hasta de 11

toneladas por hectárea de forraje verde desde el segundo año en adelante. Con una tecnología similar de manejo de suelo, el sorgo alium (***Sorghum alium***) arrojó una producción superior a las dos toneladas de materia seca por hectárea, en este mismo ambiente árido (García *et al.*, 2009).

El rodillo aereador constituye una magnífica herramienta para el establecimiento de zacate buffel en curvas a nivel. En matorrales micrófilos con el uso del rodillo se obtienen incrementos de la cobertura vegetal por pastos (47%) y una mayor producción de forraje 3.15 toneladas por hectárea con respecto al testigo (1.65 ton hectárea). Lo anterior fue una consecuencia de tener una mayor humedad en el suelo por la descompactación de la superficie del mismo (Andrade *et al.*, 2009; Berlanga *et al.*, 2009).

Por otro lado, en condiciones de secano la preparación de una buena cama de siembra para el establecimiento de especies más deseables para el ganado y como una estrategia en la rehabilitación de pastizales, es un aspecto fundamental. En este ámbito, con el rastreo y paso de una rastra de ramas posterior al

esparcimiento de semilla de zacate buffel, se obtienen producciones superiores a las cinco toneladas de materia seca por hectárea(García *et al.*, 2009).

La resiembra de pastizales degradados para llevarlos de un estado actual a un estado meta con mayores ventajas para el ganado y la fauna silvestre requiere la aplicación de tecnologías sencillas y de menor impacto negativo sobre el recurso. En este sentido con sólo esparcir al voleo la semilla de zacate buffel y pasar el rodillo aereador en matorrales desérticos de la región Norte Centro de México se logran producciones de 59.3 gramos de materia seca por metro cuadrado (García y Olhagaray, 2012).

En este aspecto, la siembra de zacate buffel (***Pennisetum ciliaris L.***) en parcelas de temporal de escorrentía enclavadas en matorrales desérticos en la cuenca del Nazas, incrementó la producción de materia seca con rendimientos superiores a los 6000 kilogramos por hectárea, equivalentes a 34 veces más que el pastizal nativo, considerando como se señaló anteriormente una producción de 175 kilogramos por hectárea de los agostaderos aledaños al sitio (García *et al.*, 2009).

b).- Mejoramiento de propiedades físicas del suelo.

La disponibilidad de humedad en el suelo incrementa entre otras cosas la actividad biológica y disponibilidad de nutrimentos. El crecimiento de las raíces de las plantas, la acumulación e incorporación de materia orgánica en la superficie y en el subsuelo, ocasionan cambios en las propiedades físicas del suelo que favorecen su productividad y conservación. Entre otras propiedades físicas del suelo que se mejoran con el manejo del pastizal son:

1. Contenido de materia orgánica del suelo

El contenido de la materia orgánica en el suelo es el resultado de la descomposición de residuos de plantas y animales en el suelo (Figura 3.a Excretas petrificadas y 3.b. excretas desintegradas por insectos) y tiene una gran relación con la sostenibilidad en los pastizales (Bird *et al.* 2001). La cantidad de materia orgánica (excretas en este caso) en el suelo es un excelente indicador de la calidad del suelo ya que interviene en diferentes funciones y procesos que se realizan en el suelo como la infiltración, redistribución y conservación de la humedad en el suelo,

reciclaje de nutrientes, productividad y estructuración del suelo (Rees *et al.*, 2001).

La materia orgánica al descomponerse a través del tiempo, deja huecos en el suelo; los cuales facilitan la entrada y distribución del agua y el aire en el mismo. En la superficie del suelo estos huecos favorecen que el agua de lluvia y escurrimiento se infiltren en el suelo de una manera más rápida. También, la materia orgánica en el suelo propicia la estructuración de los agregados del suelo y evita su disgregación por el agua y viento (Figura 4).

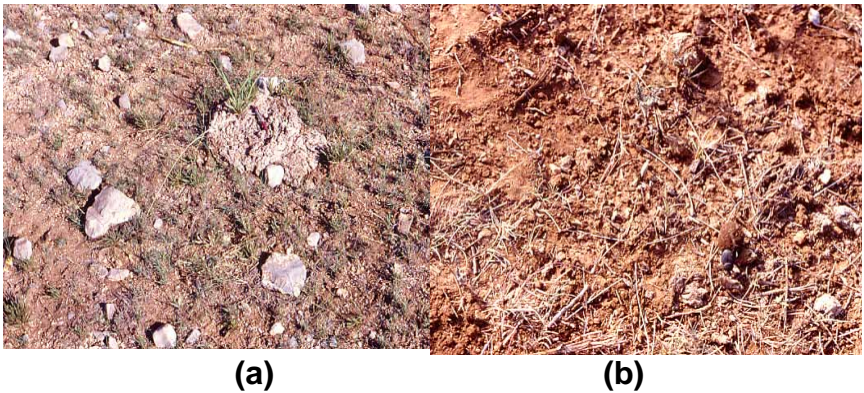


Figura 3.- Presencia de materia orgánica en suelos de pastizal petrificada e incorporada al suelo (mejor opción).

Fotos: Dr. Ramón Gutiérrez Luna

Al controlar el consumo de vegetación por el ganado en los pastizales y la reincorporación de las excretas del ganado en el suelo, incrementa el contenido de la materia orgánica en el suelo. Este contenido es el principal indicador de la calidad del suelo.

Un buen contenido de materia orgánica en el suelo promueve las tasas de infiltración, la conservación de la humedad en el suelo, la actividad microbiana, la agregación de partículas de suelo, la formación de micro y macro poros y el intercambio de gases entre el suelo y la atmósfera. Se ha señalado que los residuos vegetales *jóvenes* tienen un alto contenido de carbono y son los que propician la formación y estabilidad de los microagregados (Wei *et al.*, 2006).



Figura 4.- Suelos con alta cantidad de materia orgánica y mayor infiltración y retención de humedad en suelos de pastizal.

Foto: Dr. Ramón Gutiérrez Luna

Las fuentes de materia orgánica en los pastizales pueden ser entre otras: el mantillo orgánico sobre y dentro de la matriz del suelo y las excretas de los animales en el pastizal. Sin embargo, los factores que influyen sobre la presencia de la materia orgánica en el suelo de los pastizales son: la degradación la hojarasca, el tiempo de uso, intensidad del pastoreo, el sistema radicular, los microorganismos, las propiedades físicas y

los cambios de uso del suelo (Naeth *et al.*, 1991; Crespo, 2011; Pierson *et al.*, 2007).

2. Densidad aparente

La densidad aparente es la cantidad de suelo seco por unidad de volumen y se expresa en gramos por centímetro cúbico (g cm^{-3}). Un suelo con una baja densidad aparente ($< 1.2 \text{ g cm}^{-3}$) significa que tiene una porosidad alta; mientras que por el contrario, un suelo con una densidad alta ($> 1.3 \text{ g cm}^{-3}$) se dice que tiene un espacio poroso reducido, es decir, que el suelo está compactado. Un suelo compactado favorece la generación de los escurrimientos superficiales y reduce el crecimiento de las raíces de los zacates (Houlbrooke *et al.*, 1997) y las posibilidades de la actividad microbiana en el mismo.

Reducir la carga animal en las áreas de pastoreo disminuye el grado de compactación de las capas de suelo (Aksakal *et al.*, 2011; Azarnivand *et al.*, 2011). En pastizales con pastoreo continuo, la presión constante que ejerce el pisoteo sobre la superficie del suelo por el ganado, principalmente en aquellos sitios en los que se

reúne (abrevaderos) o pasa el ganado (veredas), compacta el suelo y con ello provoca que el agua de lluvia se encharque y escurra sobre el suelo rápidamente (Tate *et al.*, 2004).

Algunos factores que están relacionados con el grado de compactación del suelo asociado a la alta densidad aparente son: la carga animal, textura del suelo, época del año y el contenido de agua y materia orgánica en el suelo (Howard *et al.*, 1981; Van Haveren 1983; Naeth *et al.*, 1990).

Al controlar la carga animal en los pastizales a través de sistemas de potreros, la distribución de la presión sobre el suelo es igual en todo el potrero. Al no compactarse las capas del suelo por el pisoteo del suelo existe una mayor cantidad de aire en el suelo el cual es indispensable para la vida de los microorganismos y sobre todo, para la entrada del agua al suelo. Al entrar más agua en el suelo, mayor es la posibilidad de conservarla y ponerla a disposición para el crecimiento de las plantas. Una de las prácticas mecánicas para reducir el grado de compactación del suelo es el uso de implementos como el rodillo aereador o el subsuelo (Figura 5).



Figura 5.- Rodillo aerador utilizado para descompactar la superficie del suelo para preparar una cama de siembra.

Fotos: Dr. Ramón Gutiérrez luna

3. Cobertura vegetal

Cuando se evita el sobrepastoreo, la cobertura del suelo por las plantas o vegetación es mayor (Figura 6). La protección de la superficie del suelo por la cobertura vegetal evita la evaporación directa de la humedad del suelo a través de su superficie. Al no evaporarse, los zacates pueden disponer de esta humedad para su crecimiento.

Otro impacto positivo de tener una buena cobertura por vegetación es evitar que las gotas de lluvia impacten directamente sobre la superficie del suelo, ya que cuando

sucede esto, desprenden las partículas de suelo que están unidas y éstas posteriormente son transportadas por el agua que escurre sobre el terreno hacia las partes bajas del mismo y pueden ser depositadas en arroyuelos, canales, o abrevaderos (Vásquez-Méndez *et al.*, 2011). También, el proceso de infiltración ha sido correlacionado positivamente con algunos atributos de la vegetación como la cobertura y la biomasa en terrenos con pendiente; Wilcox *et al.*, (1988) señalan que la cobertura aérea resultó un mejor indicador de la infiltrabilidad que la cobertura basal del suelo.



Figura 6.- Suelos con vegetación funcional excelente y suelos con cobertura vegetal.

Foto: M.C. Gerardo García Espino

c).- Conservación del agua.

Como una consecuencia a corto plazo del incremento de la cobertura vegetal y del mejoramiento de sus propiedades físicas del suelo es factible el incremento en la disponibilidad de humedad para las plantas y de manera simultánea la conservación del suelo (Green *et al.*, 1994; Suleman *et al.*, 1995).

El mejoramiento de las propiedades físicas garantiza que el suelo funcione adecuadamente. Este funcionamiento se refiere a que el suelo debe trabajar como una “esponja”, al absorber, retener y almacenar el agua de lluvia que logra infiltrarse. Tromble (1982) reportó incrementos significativos en los contenidos de humedad en el perfil del suelo en terrenos con bordos de 7.5 y 15 centímetros de altura con respecto un terreno sin prácticas mecánicas.

BALANCE DE HUMEDAD

a) Conceptos generales

Con el propósito de entender el diseño y el funcionamiento de una obra de captación de agua de

lluvia y conservación de humedad en el suelo, es necesario primero conocer el movimiento del agua desde que se precipita hasta que es transpirada por las plantas, evaporada desde el suelo o escurrida sobre la superficie del terreno.

Cuando el vapor de agua contenido en las nubes se condensa ocurre la precipitación pluvial o lluvia. De algunas de las gotas de lluvia que caen, algunas pueden quedar atrapadas en el follaje de las plantas o pueden llegar o tocar la superficie del suelo. En este último caso y dependiendo de las condiciones de la superficie del suelo, el agua de lluvia puede infiltrar o escurrir sobre la superficie del suelo. Se puede infiltrar sí el espacio poroso en el suelo está ocupado por el aire y la intensidad a la cual ocurre la lluvia es menor que aquella a la cual el agua entra en el suelo. Por el contrario, sí el espacio poroso en el suelo ya se encuentra ocupado por el agua o sí la intensidad de la lluvia es mayor que la tasa de infiltración; entonces el agua de la lluvia empieza a encharcarse sobre la superficie del suelo. Sí continúa la tormenta y no es posible que el agua se infiltre en el suelo y entonces al ya no poder encharcarse más agua sobre el

suelo, ésta empieza a escurrir o desplazarse sobre la superficie del mismo como escurrimiento superficial.

El agua que se queda sobre la superficie del suelo o parte de la que se infiltra puede evaporarse directamente de la superficie del suelo o ser transpirada a la atmósfera sí es tomada por las plantas a través de las raíces. El resto del agua que no es evaporada o absorbida por las plantas y dependiendo del tipo de suelo puede percolarse hasta los mantos freáticos. De manera esquemática en la Figura 7 se presentan los procesos del ciclo hidrológico anteriormente señalados.

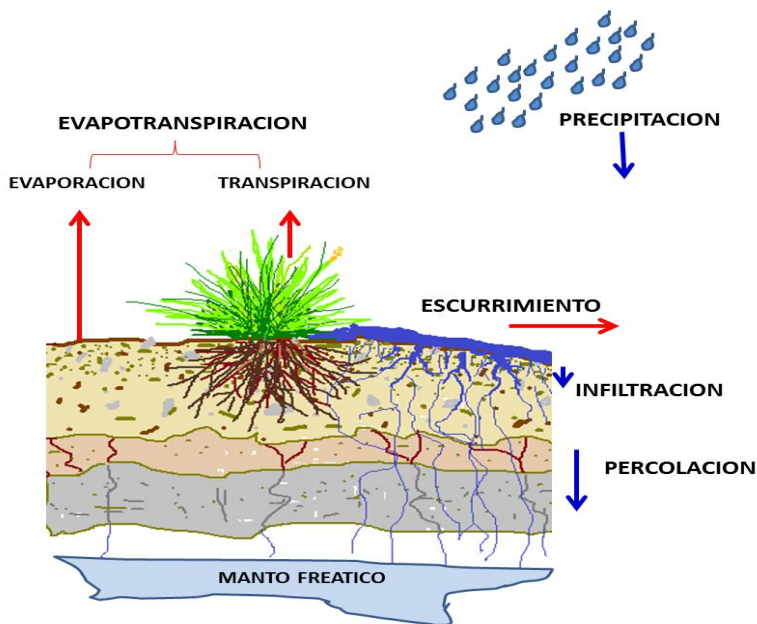


Figura 7.- Representación esquemática de los elementos del ciclo hidrológico en un sitio del pastizal.

Dibujo: Miguel A. Velásquez V.

La planeación y diseño de obras adecuadas para proveer y almacenar agua en los ranchos ganaderos es fundamental (Chávez y Morales, 2003).

Para el diseño de obras de captación de agua de lluvia y su conservación, los procesos del ciclo hidrológico descritos en el párrafo anterior son básicos. El conocimiento y análisis de la cantidad e intensidad de la precipitación pluvial junto con algunas características del

terreno y propiedades del suelo determinan por ejemplo: la capacidad de almacenamiento del suelo, el distanciamiento entre bordos a nivel, el diseño y distanciamiento entre presas filtrantes, el vertedor de demasías en abrevaderos o represas.

Proceso de infiltración del agua de lluvia.

Cuando el agua de la lluvia cae sobre la superficie del suelo el agua pasa poco a poco hacia las capas mas profundas. Este proceso se conoce como infiltración. Es un fenómeno complejo porque depende de factores físicos, químicos y bióticos (Blackburn, 1975; Gifford y Hawkins, 1978; Branson *et al.*, 1981).

Existen diferentes prácticas que son importantes para obtener una alta infiltración, como el rompimiento de la costra que se forma sobre la superficie del suelo que evita que el agua penetre sobre éste (Figura 8). Otra manera es manteniendo la cubierta de material orgánico desprendido de las plantas pastoreadas, ayudando a la germinación de nuevas plantas que a través del crecimiento de raíces van rompiendo agregados y capas

del subsuelo, facilitando la entrada y movimiento del agua a través del mismo.



Figura 8.- Impacto animal sobre la superficie del suelo, rompiendo el sellado de la superficie del suelo.

Fotos: Dr. Ramón Gutiérrez Luna

Manejo del escurrimiento.

El escurrimiento representa la cantidad de agua de lluvia que cae sobre la superficie del suelo pero que no se puede infiltrar.

El escurrimiento ocurre cuando la tasa de precipitación pluvial o lluvia excede la tasa de infiltración del suelo.

El agua que escurre sobre el suelo se clasifica o divide en tres componentes:

Escurrimiento superficial: es el agua que se desplaza sobre la superficie del suelo durante un evento de lluvia hacia las partes bajas del terreno o hacia el canal más cercano (Figura 9).

Escurrimiento subsuperficial: es la parte de la precipitación que se infiltra hasta llegar a una capa relativamente impermeable que provoca un flujo lateral a una distancia corta para aflorar en el cauce, formando los manantiales.

Escurrimiento subterráneo: es donde la lluvia se infiltra y se mueve a través del suelo hasta llegar a los mantos freáticos y ser descargados en un cause o canal.

En el caso de pastizales de zonas semiáridas o áridas, los escurrimientos superficiales pueden ser utilizados para evadir la sequía, es decir, completar las necesidades de agua de lluvia de aquellas plantas que tienen un valor forrajero.



Figura 9.- Esguerrimiento superficial del agua de lluvia en exceso y su efecto negativo.

Fotos: Dr. Ramón Gutiérrez Luna

Lo anterior se logra concentrando el agua de lluvia en forma de esguerrimiento a un determinado espacio (Figura 10). Para el diseño y operación de estos sistemas de manejo de aguas de esguerréntía los conceptos del balance hídrico deben de ser considerados para el éxito de las obras de captación y siembra de cultivos o especies forrajeras. Este mismo concepto puede ser aplicado para concentrar esguerrimientos en abrevaderos o bordos.



Figura 10.- Esquema del aprovechamiento los escurrimientos superficiales a escala parcelaria (a) y de microcuenca (b).

Fotos: Miguel A. Velásquez V.

Impacto hidrológico del sobrepastoreo

Como resultado del intenso y continuo pastoreo del pastizal, se reduce la capacidad del suelo para infiltrar la precipitación pluvial. Cuando empieza a llover las gotas de lluvia que caen directamente sobre la superficie del suelo desprenden las partículas, posteriormente, éstas sellan la superficie del suelo tapando los microporos causando que disminuya la tasa de infiltración y se incremente el escurrimiento del agua sobre el suelo.

La cantidad de agua que se escurre es mayor conforme pasa el tiempo y continúa la tormenta. Al escurrir sobre la superficie del suelo, el agua arrastra el suelo y lo deposita en las partes bajas del terreno, por esta acción cada vez más los suelos se erosionan y empobrecen (Figura 11) y se reduce su capacidad para almacenar el agua de lluvia.



Figura 11. Formación de cárcavas por efecto de escurrimiento superficial en terrenos de ladera y sin cubierta vegetal.

Foto: Dr. Ramón Gutiérrez Luna

Por otro lado, debido a la falta de la cubierta protectora por vegetación ocurre una mayor evaporación

del agua que logra penetrar en el suelo, disminuyendo la disponibilidad de humedad para el crecimiento de las plantas del pastizal.

La cantidad de los escurrimientos que van sobre la superficie están determinados directamente por las características de la vegetación (Lang, 1979). La infiltración dependerá, entre otros factores, de los cuales podemos mencionar: cobertura área y basal, tipo de suelo, compactación y pedregosidad sobre la superficie del suelo, pendiente del terreno, tipo de vegetación, intensidad, frecuencia y magnitud de los eventos de precipitación y de las prácticas de manejo (Branson *et al.*, 1981; González-Cervantes *et al.*, 2006).

CONSIDERACIONES PRÁCTICAS PARA LA REHABILITACIÓN DE PASTIZALES.

Principios del diseño ecológico

La preocupación por la salud de los ecosistemas no es reciente, aunque específicamente para los pastizales es con los esfuerzos de los investigadores de la estación de La Jornada (Pellant *et al.*, 2005) que comienza a tener relevancia en el mundo anglosajón. Sin embargo, entre los australianos el movimiento de la permacultura la definen una cantidad de principios por los que se debe de seguir el planeador de recursos naturales en el diseño de ambientes sustentables, empleando menos materiales para conservación de los recursos naturales, lo cual implica que con un manejo ecológico apropiado a cada condición de sitio se mejoran la condición (Mollison, 1991). Por ejemplo Hemenway (2009) habla de 10 principios de diseño ecológico:

- a) Observa. Usa la observación bien dirigida más que la acción sin pensamiento, observa el sitio y todos sus elementos.

- b) Conecta. Busca los elementos y las formas en que pueden éstos pueden emplearse (como pudiera ser intensidad y estancia del pastoreo) para ahorrar tiempo y aumentar la diversidad y salud del ecosistema.

- c) Captura y guarda los materiales y la energía. En este sentido se considera al agua principalmente como agente inductor del crecimiento vegetativo, entre otros.

- d) Cada elemento deberá de cumplir con varias funciones en espacio y tiempo. Es decir el crecimiento vegetativo forrajero deberá de ser utilizado correctamente en tiempo y espacio, previendo minimizar daño a la vegetación por los herbívoros, además de proteger los suelos incluso llegando a utilizar cultivos de cobertura total sobre los suelos.

- e) Cada elemento es soportado por múltiples métodos para alcanzar sinergias. En este sentido existe una interacción entre suelo, planta y atmósfera, a lo cual

debe sumarse el efecto del herbívoro como elemento promotor de crecimiento.

- f) Privilegia el menor cambio para el mayor efecto. Hay que entender el sistema para encontrar sus puntos de “apoyo” donde se puede usar la energía de forma eficiente.
- g) Usa sistemas intensivos de baja escala.
- h) Optimiza el efecto de “orilla”. La intersección de dos ecosistemas es generalmente el que tiene mayor diversidad.
- i) Colabora con la sucesión. El flujo natural de las comunidades es de inmadurez a madurez y si se reconoce esta tendencia se puede ahorrar energía.
- j) Utiliza recursos biológicos y renovables.

Estos principios de la permacultura han sido traducidos al contexto de la cosecha de agua de lluvia en forma magistral por Lancaster 2010,

(www.harvestingrainwater.com) en sus ocho principios de captura con éxito la lluvia:

- a) Empieza con la observación larga y pensativa. Hay que empezar observando como fluye el agua en el paisaje si queremos hacer algo que sea sustentable.
- b) Siempre empieza en la parte alta de tu cuenca. Siempre será más eficiente trabajar lo más alto posible ya que los volúmenes son menores y será más manejable.
- c) Empieza por poco y sencillo. No tiene sentido aprender nuestros errores con grandes empresas en las que se desperdicia tiempo y dinero.
- d) El agua hay que frenarla, dispersarla y favorecer su infiltración. Encausar el agua para que zig-zaguee, es la mejor forma de fomentar su infiltración.
- e) Siempre considera una ruta de drenaje y manejarlo como un recurso más adelante. Que va ha pasar con el agua una vez que sature la estructura y se vuelva escorrentía.

f) Hay que crear una esponja. A diferencia de lo común hay que favorecer la acumulación de materia orgánica alrededor de los árboles y arbustos, la cual funcionara como una esponja y detendrá la evaporación.

g) Siempre hay más formas de utilizar el agua cosechada. Procura que los recursos hídricos tengan múltiples funciones.

h) Hay que reevaluar el sistema continuamente. Esto es solo una extensión del primer principio, puesto que en todo sistema de manejo, es mejor asumir que se tomó una decisión errónea y que debe de ser monitoreada a través de la evaluación periódica (Savory, 1999).

Factores para crear más estabilidad en tierras de pastizal

Se considera importante resaltar el manejo necesario para asegurar una utilización redituable y estable de los pastizales con el mejor augurio que permitirá enriquecer el suelo y mantener una producción cada vez más alta, aun con las consabidas variaciones en la precipitación, que se estima que aumentaran (las

variaciones) en el mediano plazo debido al cambio climático.

a).- Incrementar la materia orgánica del suelo.

El gran problema de las zonas áridas y semiáridas es conseguir suficiente cobertura del suelo. En condiciones “óptimas” los organismos descomponen los compuestos orgánicos y los hacen asimilables para las plantas. La falta de cobertura vegetal propicia que los microorganismos y otros no tan “micro”, entren en una etapa de baja o nula actividad, es decir, todos aquellos agentes biológicos, por llamar a una colectividad muy amplia, no están activos y por lo tanto no se están haciendo disponibles una serie de nutrientes que se procesan a través de ellos. Así, la falta de materia orgánica provoca que un suelo sin cubierta vegetal (por plantas o mantillo orgánico) se convierta en un “ladrillo” muy rápidamente, matando o inhabilitando los organismos y por tanto reduciendo fuertemente la capacidad de incrementar la fertilidad del suelo.

La incorporación de materia orgánica sobre y en el suelo (Jones, 2009) permite que los organismos hagan su

trabajo (Figura 12), además de que conforme va aumentando el contenido de materia orgánica en el suelo, tendrá mayor capacidad de almacenar agua. Por ejemplo, una lluvia con una lámina de 10 mm, significa que cayeron 100,000 litros en una hectárea y tomando en cuenta que una diferencia de 1% en la cantidad de carbón (en términos generales la mitad de la materia orgánica del suelo es carbono) es capaz de almacenar 168,000 litros por hectárea adicionales, se asume una densidad aparente de 1.4 gramos por centrimetro cubico (g cc^{-1}), (Jones, 2009). Es decir, si se logra hacer un incremento de ese tamaño, se tendrán 168,000 litros extras almacenados en la parcela de una hectarea. Esa cantidad no es poca cosa para ambientes áridos o semiáridos.



Figura 12.- Entomofauna realizando en zonas semiáridas la actividad de integración de materia orgánica al suelo.

Fotos: Dr. Ramón Gutiérrez Luna

b).- Respetar el descanso para producir.

Los pastos tienen la particularidad de tener sus puntos de crecimiento en la base del macollo. Las hojas a fin de cuentas son como las plantas solares, convierten la luz en energía que se guarda como azúcares en las hojas y las almacenan en lo que se llama la corona, que viene siendo una estructura entre las hojas y las raíces. Cuando una planta de pasto es cosechada al ras del suelo, la planta mueve sus reservas para construir una primera hoja, si no existen reservas en la corona (por haber sido sobre-pastoreada anteriormente) entonces lo que hace la

planta es que mueve reservas de sus raíces, prácticamente matándolas.

c).- El animal es aliado.

Algunas razones por las que el uso del ganado vacuno puede enriquecer el suelo y mantener la producción del forraje en pastizales son las siguientes:

De manera natural la fertilidad del suelo se puede mejorar mediante el uso de plantas como las leguminosas que pueden dejar un poco de nitrógeno en el suelo debido a su asociación con microorganismos muy especiales y a través del uso de estiércoles.

Considerando que en los ambientes áridos y semiáridos la panza de los bovinos es el único lugar donde existe agua y condiciones sin aire (anaeróbicas) que permiten que vivan, reproduzcan y mueran una gran cantidad de microorganismos, por ello, el estiércol también tiene el potencial de inoculación con microorganismos en el suelo lo cual le confiere vida al suelo. Además de que una vez seco el estiércol es una barrera para que el suelo

no se deseca tan rápidamente una vez que llueve, y es una fuente de nutrimentos para el suelo y pasto.

El animal al pastorear se ha demostrado que tiene efectos benéficos sobre el pasto, se infiere que la saliva tiene algunos compuestos que permiten que el pasto reaccione rápidamente a la poda, más que la respuesta de una poda mecánica. Otros impactos positivos del vacuno pueden ser por la capacidad de disturbar levemente la superficie del suelo y esa misma pezuña puede no solo aflojar el suelo sino tapar las semillas que estaban en la superficie y que de otra forma podrían haber sido voladas por el viento o comidas por hormigas y otros insectos. Estos efectos pueden alcanzarse implementando sistemas de pastoreo en el pastizal (Figura 13).

d).- El diseño de la parcela o potrero necesita reconocer el agua.

Para lograr el máximo aprovechamiento del agua que se precipita sobre los pastizales es importante tener en cuenta como se mueve o distribuye el agua sobre el terreno. Este conocimiento nos permitirá delimitar los

potreros y diseñar obras de conservación de agua basadas en la naturaleza del suelo y características del terreno (Figura 14). Cada terreno presenta características especiales, por ello es necesario ubicar dentro de los mismos sitios especiales donde es posible derivar los escurrimientos hacia otras partes del terreno. De lo contrario la energía del agua al bajar por la pendiente del terreno lo erosiona y puede llegar a formar arroyuelos o cárcavas.



Figura 13.- Bovinos activos en pastizal con vegetación utilizada a través de sistemas de pastoreo rotacional pero con carga animal incorrecta y adecuada, respectivamente.

Foto: Dr. Ramón Gutiérrez Luna

e).- La especie clave es el pasto, pero en las orillas son los arbustos.

Una alternativa que no se ha explotado en todas sus posibilidades es la de utilizar calles de pasto pero con orillas de arbustivas, es decir cada dos o tres anchos de tractor se siembra un surco con arbustivas que puedan ser pastoreadas por animales domésticos (Figura 15); no hay que limitarse a las vacas, los caprinos y los ovinos pueden ser una buena posibilidad para los productores pequeños.

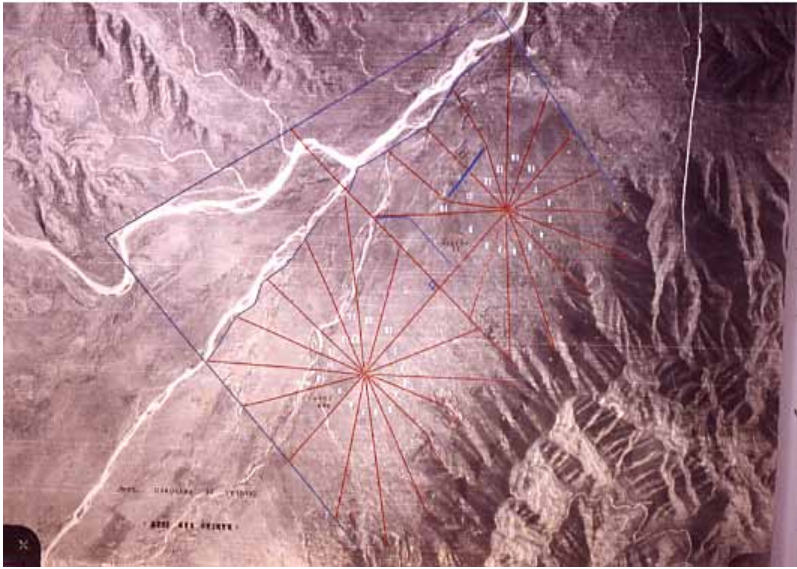


Figura 14.- Diseño de potreros para un sistema de pastoreo rotacional.

Foto: Dr. Ramón Gutiérrez Luna



Figura 15.- Vegetación herbácea (gramíneas) y arbustivas forrajeras.

Foto: M. C. Gerardo García Espino

Las bondades de los arbustos son muchas, interesan las que pueden ser ramoneadas, y esto va a depender del sitio. En el semiárido puede ser el **mezquite**, el **varaduz**, los **nopales** forrajeros y la **leucaena** o **guache**, y un arbusto que se llama **tagasaste** (Figura 16). Estas arbustivas (con la excepción del nopal) tienen la particularidad de ser leguminosas, como el frijol y la alfalfa, es decir producen su propio fertilizante nitrogenado gracias a su asociación con ciertos microorganismos. Esto hace que sus hojas y frutos sean

particularmente preferidos por sus cualidades nutricionales por cualquier herbívoro doméstico e inclusive silvestre. Pero además de esto, la calidad del suelo en el que se desarrollan va aumentando con el buen manejo y la acumulación de materia orgánica, mantillo u hojarasca que sirve como esponja para mantener la humedad alrededor de estos arbustos.



Figura 16.- Establecimiento de arbustos forrajeros (nopal y chamizo) en bordos a nivel en tierras de pastizal.

Fotos: Dr. Ramón Gutiérrez Luna

El uso intensivo de arbustos permite que una vez que han sido pastoreados, se pueden drásticamente en el año 3 de establecimiento, es decir cuando las raíces ya están bien desarrolladas en el sitio. Al podar a 5 cm de la superficie del suelo, se facilita que el arbusto lance un mayor número de ramas que darán mayor volumen o cantidad de forraje.

En el caso de temporales extremadamente desfavorables es probable que se tenga que prevenir alguna forma de proteger a los arbustos puesto que si no se han desarrollado más de 30 cm de altura, un pastoreo podría ser demasiado drástico para que se recupere el arbusto. Como todo, va a depender de las condiciones particulares del sitio, porque aun en uno semiárido, si se ha permitido la acumulación de hojarasca alrededor de los arbustos, o mejor aún si se les ha hecho una cavidad por el surco al contorno esta almacenar más agua de los terrenos aledaños y por tanto es posible que se recupere más rápidamente.

PRACTICAS DE MANEJO DE PASTIZALES Y DE RESTAURACIÓN DE SUELOS

Ante una eventual continuidad de ciclos con periodos prolongados de sequias extremas, esta publicación pretende presentar a los usuarios de predios con uso pecuario, una serie de opciones técnicas cuyo objetivo primordial es la conservación de agua en las áreas de pastizal. Por estar ubicados en las zonas áridas y semiáridas del país, los ganaderos de los estados de Aguascalientes, Durango y Zacatecas deben considerar que implementar prácticas de conservación de agua en los pastizales es una manera de mitigar las condiciones adversas debidas a los cambios en las tendencias de los elementos del clima y al proceso de desertificación.

Es indispensable recalcar que algunas de las prácticas mecánicas y de manejo del pastizal que a continuación se presentan llevan de manera implícita la conservación del suelo. La conservación de este recurso, es básica para la planeación y uso del pastizal y aún más para llegar a pensar en la sostenibilidad del mismo a largo plazo. Por ello, es imprescindible el incremento de la cobertura del suelo por la vegetación y esto sólo se puede lograr a través de la implementación de un sistema de

apacentamiento basado en el control de la carga animal. A continuación se presenta información sobre prácticas de manejo de pastizales y de algunas obras de conservación de suelo y agua que pueden mitigar los daños por sequía en los pastizales semiáridos y áridos del norte de México.

Especies forrajeras más eficientes

Objetivo de las práctica

Identificar, evaluar y seleccionar especies forrajeras con aptitud de ser eficientes en la transformación de la lámina precipitada a materia seca o forraje para el ganado (Figura 17).

Recomendación de Uso

Hacer evaluaciones de materiales genéticos o líneas experimentales por ambiente ecológico.

Establecer sitios dentro del pastizal adecuados para la producción de semilla de aquellos materiales sobresalientes.

Sembrar o re-introducir los materiales sobresalientes en aquellos sitios del pastizal para los cuales fueron seleccionados por su excelente comportamiento.



Figura 17. Evaluación de materiales genéticos tolerantes a sequía.

Foto: Dr. Ramón Gutiérrez Luna

Exclusión al pastoreo

Objetivo de las práctica

- Producción y conservación de especies nativas del pastizal.
- Proteger, mantener y/o mejorar la cantidad y vigor de plantas y animales.
- Conservar la calidad de suelo, agua y aire.

Recomendación de Uso

Se recomienda que las áreas de exclusión estén en áreas con vegetación representativa del potrero, que permitan el

mantenimiento y establecimiento de vegetación, condición del suelo, calidad del agua y de hábitat para la fauna (Figura 18).



Figura 18.- Impacto de la exclusión al pastoreo sobre la condición de la vegetación nativa del pastizal.

Foto: Dr. Ramón Gutiérrez Luna

Surcado entre curvas a nivel

Objetivo de las práctica

Disminuir la concentración y velocidad de los escurrimientos superficiales

Inducir la infiltración

Incrementar la humedad en el suelo para las plantas

Evitar erosión laminar y en cárcavas

Recomendación de Uso

No se recomienda en regiones con alta precipitación

Terrenos con pendiente no mayor al cinco por ciento

En terrenos arcillosos, poco profundos y con altas precipitaciones considerar en el diseño de la práctica un desnivel para desagüe con un 3 a 8% de pendiente (Figura 19).



Figura 19.- Trazo de surcos al contorno en áreas de pastizal abiertas.

Foto: Dr. Ramón Gutiérrez Luna

Bordos a nivel

Objetivo de las práctica

- Reducir la longitud de la pendiente
- Propiciar la captación del escurrimiento superficial
- Incrementar la infiltración
- Incrementar la retención de humedad en el suelo
- Promover condiciones para la germinación de semillas

Recomendación de Uso

Es indispensable considerar en el diseño la pendiente del terreno y la magnitud de la precipitación para la definición del espaciamiento entre bordos.

Para asegurar el funcionamiento de esta práctica es necesario utilizar especies nativas como el maguey y nopal para estabilizar la estructura del bordo (Figura 20).

Periódicamente recorrer el terreno para revisar que los bordos no estén destruidos por la acumulación de escurrimiento, compactación natural o pisoteo del ganado.



Figura 20.- Bordos a nivel establecidos en curvas a nivel en un pastizal árido y con plantaciones de arbustos y zacates para estabilizarlos.

Foto: Dr. Ramón Gutiérrez Luna

Pozas

Objetivo de las práctica

- Recarga de mantos acuíferos
- Interceptar y almacenar los escurrimientos superficiales
- Aumentar la infiltración de agua al subsuelo
- Propiciar el establecimiento de vegetación perenne

Recomendación de Uso

Establecimiento en regiones de más de 700 mm de precipitación anual

Se recomiendan en terrenos con pendiente ligera (no mayor del 8 %), profundos y libres de rocas.

Utilización en suelos con alta permeabilidad o altas tasas de infiltración

Utilizar la captación de agua para el establecimiento de especies nativas con potencial forrajero como el chamizo (Figura 21).



Figura 21.- Poza de captación de agua de lluvia

Foto: M.C. Francisco A. Rubio Aguirre

Abrevaderos o bordos

Objetivo de las práctica

- Almacenamiento superficial de agua para consumo animal en época de estiaje (Figura 22).

Recomendación de Uso

Considerar en el diseño de la obra el tamaño y tipo de la superficie de captación

Establecimiento de los bordos en suelos arcillosos y sin pedregosidad

Ubicar los abrevaderos en sitios estratégicos para el manejo del ganado

Instalar manguera para bebedero

Establecimiento en áreas con bajo potencial forrajero

Considerar prácticas de desazolve.



Figura 22.- Abrevadero o bordo para retención de escurrimientos superficiales.

Foto: Miguel A. Velásquez V.

Subsoleo

Objetivo de las práctica

- Incrementar la capacidad de almacenamiento de humedad en el suelo
- Romper capas subsuperficiales endurecidas de suelo
- Favorecer el proceso de infiltración de agua de lluvia
- Mejorar condiciones del suelo para la germinación de las semillas

- Facilitar el crecimiento radicular de pastos y arbustivas deseables

Recomendación de Uso

El subsuelo debe realizarse a una profundidad no mayor a 0.4 metros

Se recomienda dar un paso de subsuelo en praderas de zacate cada cuatro o cinco años, especialmente en terrenos arcillosos o migajones con substrato endurecido

En caso de suelos endurecidos debe hacerse un paso cruzado con el subsuelo para obtener mejores resultados. (Figura 23).



Figura 23.- Subsoleo en terreno de pastizal en zona árida.

Foto: Dr. Luis Carlos Fierro

Pileteo o Rodillo aereador

Objetivo de las práctica

Captación de agua de lluvia

Almacenamiento superficial de agua de lluvia

Incrementar infiltración de agua de lluvia

Favorecer condiciones de germinación de semillas de gramíneas

Recomendación de Uso

Se recomienda evitar al máximo destruir la vegetación nativa del pastizal

Evitar pasar el rastrillo en suelos pesados o con problemas de infiltración (Figura 24).



Figura 24.- Paso del rodillo aireador en áreas de pastizal nativo.

Foto: Campo Experimental La Campana

Zanjas

Objetivo de la práctica

Concentrar los escurrimientos superficiales dentro de una fosa.

Contribuir al control de la erosión al eliminar la energía erosiva de los escurrimientos al reducir la longitud de la pendiente.

Recomendación de Uso

Se aconseja hacer el diseño y trazo de las zanjas de acuerdo con el levantamiento topográfico del sitio.

Dar mantenimiento a la infraestructura para evitar la formación de arroyuelos y cárcavas.

Complementar con otras prácticas agronómicas y/o mecánicas de conservación de suelos.

Establecer especies forrajeras amacolladas o cubrir con mantillo la parte baja de la zanja (Figura 25).



Figura 25.- Captación de agua de lluvia en zanja construida a nivel.

Foto: Campo Experimental La Campana

Derivación de escurrimientos

Objetivo de las práctica

Derivar o captar, conducir y distribuir el agua de los escurrimientos a terrenos destinados a la producción de cultivos o especies forrajeras (Figura 26).

Reducir la velocidad erosiva de los escurrimientos superficiales

Captar el suelo y nutrientes en áreas o parcelas niveladas

Recomendación de Uso

El sistema debe ser diseñado para manejar los excesos de agua de tormentas de 6 horas de duración y con períodos de retorno de 5 años; es decir, la obra debe resistir la avenida máxima esperada.

La pendiente máxima permisible para este sistema es de 2 %, con bordos de 60 cm de altura, con una altura libre de bordo de 15 cm y una distancia máxima recomendada entre bordos de 30 m.

Los suelos de textura gruesa no son recomendables por las altas tasas de infiltración y la baja capacidad de almacenamiento.



Figura 26.- Derivación de escorrentía superficial de un cauce natural mediante un bordo de contención.

Foto: Miguel A. Velásquez V.

Presas filtrantes

Objetivo de las práctica

Prevenir la erosión remontante, y evitar el crecimiento de la cárcava aguas arriba.

Disminuir de la erosión de los taludes y del fondo de la cárcava.

Rehabilitar la cárcava con diversas estructuras.

Formar pequeños bancos de suelo aguas arriba de la estructura

Recomendación de Uso

Asesoría profesional para el diseño y construcción de las presas

Considerar el proceso erosivo aguas arriba del sitio donde se establecerán las presas (Figura 27).



Figura 27.- Presa filtrante de piedra sobre arroyo efímero.

Foto: Dr. Ramón Gutiérrez Luna

INFORMACIÓN DE CLIMA

Cuantificación de la precipitación pluvial

Para el éxito de los programas de captación y conservación de agua de lluvia o escorrentías superficiales es necesario tomar en cuenta en su diseño varios parámetros de índole climática y morfológica del terreno del pastizal.

En el primer caso, la magnitud de la precipitación pluvial o lluvia máxima en 24 horas es importante para definir por ejemplo la altura y espaciamiento de los bordos y pequeñas presas de piedra o mampostería. El valor de la lluvia que ocurre de un día a otro puede ser estimado directamente en el sitio con el uso de un pluviómetro estándar (Figura 28) u obtenido de las estaciones climatológicas más cercanas.



Figura 28.- Estación climatológica equipada con pluviómetro estándar y automatizado.

Foto: Miguel A. Velásquez Valle

En el caso de los parámetros referidos a la morfología del terreno los más importantes son el área o superficie y su pendiente.

Un cálculo erróneo en el diseño de cualquier obra por la falta de esta información o una mala estimación de ella conduce a la destrucción parcial o total de la obra, así como a daños colaterales aguas abajo de la obra como inundaciones, alteración de corrientes hidrológicas,

pérdida de volúmenes de agua captados, asolvamiento de presas o canales aguas abajo.

Con la intención de complementar este documento, a continuación se presentan algunos métodos de campo para que el usuario pueda hacer algunos cálculos de parámetros altimétricos indispensables en el diseño de obras de captación y conservación de agua.

Delimitación y Caracterización del Área de Drenaje

- Trazo de parteaguas.

Se puede hacer de manera digital, manual o recorrido de campo. Este elemento permite definir el área total que contribuye a la captación del agua de lluvia (Figura 29). Un error de estimación de la superficie que contribuye con la captación de agua puede causar la destrucción parcial o total de la obra de conservación establecida. Es conveniente a través de un recorrido de campo validar que el parteaguas considerado coincida con el observado en campo y al mismo tiempo revisar las condiciones en que se encuentra.

- Caracterización geomorfológica de las vertientes o laderas. Es el espacio físico en el cual se realizan

o llevan acabo los procesos del ciclo hidrológico a diferentes escalas de tiempo y espacio. La condición actual del espacio es el producto del impacto antropogénico y de fenómenos extremos de la naturaleza como sequías, movimientos de tierra, etc.

- Localización del punto de salida o boquilla del área de drenaje. La utilidad de localizar este punto es importante ya que es donde se ubica la estación de aforo para cuantificar los escurrimientos superficiales del área de captación que convergen en el sitio de interés (▼ en la Figura 29).



(a)

(b)

Figura 29.- Delimitación del área de captación de agua a diferentes escalas a) parcelario y b) cuenca hidrológica.

Foto: Miguel A. Velásquez Valle

Trazo de una curva a nivel

Para el trazo en el campo de una curva a nivel es importante primero observar si el terreno presenta una pendiente uniforme o regular o si la pendiente es compleja o irregular (Figura 30).



Figura 30.- Terrenos de pastizal con pendiente uniforme y otro con un paisaje irregular o accidentado.

Fotos: Miguel A. Velásquez V.

Trazo en terrenos de pendiente uniforme.

- 1).- Buscar en el terreno un lugar en el cual se pueda ubicar una línea desde la parte más alta a la más baja del terreno.
- 2).- Con el uso de una manguera transparente de 20 a 30 metros de largo o con el nivel Tipo “A” se traza la primera curva a nivel o curva guía.
- 3.- Posteriormente siguiendo el trazo de la curva guía y dependiendo de la precipitación pluvial de la región y la pendiente del terreno se determina el espaciamiento de las curvas a nivel.

Trazo en terrenos de pendiente irregular.

1).- Buscar en el terreno un lugar en el cual se pueda ubicar una línea desde la parte más alta a la más baja del terreno.

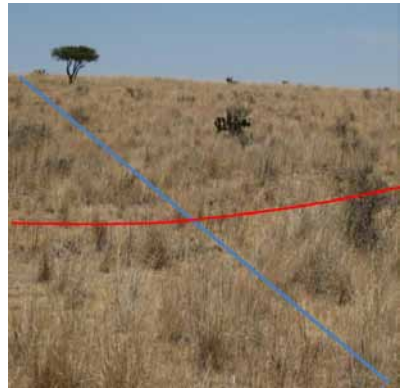
2).- En la línea trazada se colocan estacas cada 40 o 50 metros y para cada uno de ellas se traza la curva a nivel. Debido a que el terreno tiene una pendiente compleja por la presencia de arroyos y/o cárcavas las curvas en estas partes del terreno deberán estar muy juntas y lo contrario sucederá cuando la pendiente del terreno sea menor.

Es importante señalar que es necesario antes, durante y después de la época de lluvia revisar directamente en campo mediante recorridos el estado físico de cada uno de los bordos o curvas de nivel. La misma energía erosiva de la lluvia, el viento, la acumulación excesiva de escurrimientos, agujeros de roedores, el pisoteo del ganado, etc. pueden degradar o destruir los bordos. Al romperse un bordo, el agua que se pasa por el mismo puede destruir el resto de los bordos aguas abajo y llegar a formar un arroyuelo o una cárcava

en el terreno. Por esta razón, es muy conveniente reforzar o levantar los bordos compactados o destruidos antes del temporal. Durante el temporal asegurarse que se establezca una cubierta vegetal sobre el bordo para que lo proteja de la acción erosiva de la lluvia y del escurrimiento (Figura 31 y 32).



1.-Trazo de línea a favor de la pendiente



2.- Trazo de primera curva a nivel



3.- Trazo de siguientes curvas a nivel

Figura 31.- Trazo de línea guía (azul) para ubicar las curvas a nivel (rojo) en un terreno con pendiente regular.

Fotos: Miguel A. Velásquez V.



Figura 32.- Trazo de curvas a nivel en un terreno de pastizal con pendiente irregular.

Foto: INIFAP-CIRNOC

Construcción de bordos a nivel.

Los bordos a nivel se construyen de forma perpendicular a la pendiente del terreno. Para su construcción se utiliza una bordeadora convencional y un subsuelo (Figura 33).

El ancho de franja varía según tipo de maquinaria con un rango de 2.0 a 1.5 m y de 0.65 a 0.50 m de altura,

la profundidad de corte mínima de 0.30 m, separados en curvas a nivel dependiendo de la pendiente del terreno, sin embargo, se puede generalizar cada 10 m. La construcción del bordo incluye el paso de subsuelo y bordeadora o con maquinaria similar necesaria para conformar el bordo. También incluye un paso del subsuelo aguas arriba del bordo para facilitar la infiltración. Para la construcción de esta obra no se deberá remover la cobertura vegetal nativa presente en el pastizal.



Figura 33.- Implementos agrícolas bordeadora y subsuelo utilizados para la construcción de bordos a nivel.

Fotos: INIFAP-CIRNOC

Con el uso de tracción animal la construcción del bordo se hará con un mínimo 1 m de ancho de corte, con

mínimo una profundidad de corte de 0.20 m y altura del bordo de 0.40 m. Los bordos deben estar a 10 m de distancia en curvas a nivel (CONAFOR, 2012).

Para fines prácticos se presenta una propuesta para el cálculo del espaciamiento entre bordos, tomando en cuenta el factor del proceso de erosión en el que se impacta o incide.

Los factores involucrados consideran los que proporcionan la energía para erosionar el suelo (Erosividad de la lluvia y el escurrimiento superficial), un factor atenuante de la erosión como es la cobertura del suelo y finalmente la resistencia o susceptibilidad del suelo a ser erosionado. La siguiente información es útil para ubicar la categoría en la cual se encuentra el terreno en el que se pretenden establecer los bordos (Cuadro 2 y 3).

Cuadro 2. Factor de Erodabilidad en terrenos de pastizal a diferentes niveles de precipitación, pendiente, cobertura vegetal y textura suelo.

FACTOR	VARIABLE	CATEGORÍA		
Erosividad	Precipitación pluvial (mm)	Árido	Semiárido	
		0 a 450	450 a 1200	
PENDIENTES				
Esguerrimiento	Pendiente del terreno (%)	Plana a leve	Regular	Fuerte
		< 5	5 a 10	10 a 40
COBERTURA				
Manejo de cobertura	Cobertura vegetal (%)	Pobre a buena	Buena a excelente	
		< 50%	50 A 100%	
TEXTURA DEL SUELO				
Erodabilidad	Textura del suelo	Gruesa	Media	
		Arenoso	Franco	

Cuadro 3.- Espaciamiento entre bordos (en metros) en función de la cobertura, pendiente, textura del suelo y condición ambiental.

Cobertura vegetal	Pendiente %	Textura del suelo	ambiente	
			Árido	Semiárido
< 50%	Plana a leve	Gruesa	25.0	14.0
		Media	8.0	5.0
		Fina	6.0	3.5
	Regular	Gruesa	15.0	9.0
		Media	7.0	4.0
		Fina	4.5	2.6
	Fuerte	Gruesa	11.0	6.0
		Media	6.0	3.3
		Fina	2.3	2.3
50 a 100%	Plana a leve	Gruesa	7.0	4-0
		Media	4.5	2.6
		Fina	3.8	2.2
	Regular	Gruesa	5.5	3.0
		Media	3.8	2.2
		Fina	3.3	1.9
	Fuerte	Gruesa	4.3	2.5
		Media	3.2	1.8
		Fina	2.8	1.6

Fuente: INE, 2007b.

LITERATURA CITADA

Aksakal, E. L., O. Taşkınand, O. Mudahir. 2011. Time-dependent changes in distribution patterns of soil bulk density and penetration resistance in a rangeland under overgrazing. *Turk. J. Agric. For.* 35: 195-204.

Anaya, E. 1998. Caracterización y evaluación de la cobertura vegetal en la cuenca del arroyo Ocuela (Durango Norte de México) Folleto Científico 7. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias-ORSTOM. Gómez Palacio, Durango, México.

Andrade, L., E., M. espinosa R., R. Garza C. y J.J. Verdoljak. 2009. Rehabilitación de praderas con el uso del rodillo aereador. Pag 2. *In: Memorias del VI Simposio Internacional de Pastizales. UANL- ITESM.* 4 al 7 de Noviembre 2009. Monterrey, N.L. México.

Asner, G. P., A. J. Elmore, L. P. Olander, R. E. Martin and A.T. Harris. 2004. Grazing systems, ecosystem responses, and global change. *Annu. Rev. Environ. Resour.* 29:261-299.

Azarnivand, H., A. Farajollahi, E. Bandakand H. Pouzesh. 2011. Assessment of the Effects of overgrazing on the soil physical characteristic and vegetation cover changes in rangelands of Hosainabad in Kurdistan Province, Iran. *Journal of Rangeland Science.* 1: 95 – 102.

Barrera B., N.1996. Los orígenes de la ganadería en México. *Ciencias.*44:14-27.

Berlanga, R. C. A., S. Beltrán L., O. U. Martínez B., P. Hernandez R. y L. M. Torres E. 2009. Rehabilitacion de

pastizales en el norte de Coahuila con el uso del rodillo aereador. Pag 4. *In: Memorias del VI Simposio Internacional de Pastizales. UANL- ITESM. 4 al 7 de Noviembre 2009. Monterrey, N.L. México.*

Bird, S.B., Herrick, J.E., Wander, M.M., 2001, Exploiting heterogeneity of soil organic matter in rangelands: benefits for carbon sequestration. *In: Follett, R.F., Kimble, J.M., Lal, R. (Eds.). The potential of U.S. grazing lands to sequester carbon and mitigate the greenhouse effect. Lewis Publishers, Boca Raton, FL, p. 121-138.*

Blackburn, W. H. 1975. Factors influencing infiltration and sediment production of semiarid rangelands in Nevada. *Water Res. Research. 11: 929 – 937.*

Branson, F. A., G. F. Gifford, K. G. Renard and R. F. Hadley. 1981. Rangeland hydrology. Society for Range Management. Second Ed. KENDALL / HUNT PUB. CO. USA. 339 p.

Comisión Nacional del Agua. (CONAGUA) 2012. Sequía. Disponible en: <http://www.cna.gob.mx>. Consultado en 4 de julio de 2012.

Comisión Nacional Forestal (CONAFOR).2012. Criterios técnicos para la ejecución de los proyectos de conservación y restauración de suelos 2012. Coordinación General de Conservación y Restauración. Gerencia de Suelos. Zapopan, Jal. México.75 p.

Comisión-Técnico Consultiva para la Determinación Regional de los Coeficientes de Agostadero

(COTECOCA) Durango.1979. SARH. Subsecretaría de Ganadería. pp. 131 -132. México.

CONABIO. 1998. La biodiversidad biológica de México. Estudio de País. 1ª ed. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, D.F. 341 p.

Confederación Nacional Campesina (CNC) 2011. Coordinación de Comunicación Social. Comunicado de Prensa. 6 de Noviembre de 2011. México. Disponible en: <http://www.cnc.org.mx>. Consultado en 3 de julio de 2012.

Cornelis, W. M. 2006. Hydroclimatology of wind erosion in arid and semiarid environments. Chapter 9. *In: Dryland Ecohydrology*. D'Odorico and A. Porporato (eds.), 141-161. Springer. Netherlands.

Crespo, G. 2011. Comportamiento de la materia orgánica del suelo en pastizales. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*. 45:343 – 347.

Chávez, D., J. A. y V. Morales G. 2003. Manejo del agua para ranchos ganaderos en zonas áridas de Baja California. Publicación Técnica No. 2. CAMPO EXPERIMENTAL COSTA DE ENSENADA. CIRNO. INIFAP. 22 p.

ECOPAD, 2007. Aguirre, C.; J. Hoth y A. Lafón (eds.) Estrategia para la conservación de los pastizales del desierto Chihuahuense. Chihuahua, México. 23 p.

García, E. G., F. J. Pastor y E. C. Olhagaray. 2009. Validación del establecimiento de praderas de sorgo alum en curvas a nivel en matorrales micrófilos de la región Norte Centro de México. Pag. 20. *In: Memorias del VI*

Simposio Internacional de Pastizales. UANL- ITESM. 4 al 7 de Noviembre 2009. Monterrey, N.L. México.

García, E. G. y E. C. Olhagaray. 2012. Uso del rodillo aereador para el establecimiento de zacate buffel (*Cenchrus ciliaris*) en curvas a nivel probando área-siembra área escurrimiento en matorrales micrófilos en la región Norte centro. Pag. 356 – 360. *In*: Memorias de la XXIV Semana Internacional de Agronomía. FAZ-UJED. 4 al 6 de Septiembre. Venecia, Dgo. México.

Gifford, G. F. and R. H. Hawkins. 1978. Hydrologic impact of grazing on infiltration: a critical review. *Water Res. Research.* 14: 305 – 313.

Giordanengo, J. H., G. W. Frasier, M. J. Trlica. 2003. Hydrologic and sediment responses to vegetation and soil disturbances *J. Range Manage.* 56: 152 – 158.

González-Cervantes, G., J. Estrada Á., J. L. González B., J. A. Cueto W., I. Sánchez C. y G. Castillo S. 2006. Análisis de los factores que afectan la relación precipitación - escurrimiento en una zona semiárida del norte de México. *TERRA Latinoamericana.* 24: 337 – 345.

Green, R. S. B., P. I. A. Kinnell and J. T. Woo. 1994. Role of plant cover and stock trampling on runoff and soil erosion from semi-arid wooded rangelands. *Aust. J. Soil Res.* 32:953 – 973.

Hemenway, T. 2009. *Gaia's Garden: A guide to home-scale permaculture.* 2nd ed. Chelsea Green Publ. Co. Vermont. 328 pag.

Howard, R.F., M.J. Singer, and G.A. Frantz. 1981. Effects of soil properties, water content, and compactive effort on the compaction of selected California forest and range soils. Soil Science Society of America Journal 45:231-236.

Huntsinger L. and P. F. Starrs, 2006. Grazing in arid North America: A biogeographical approach. Sécheresse 17 : 219-33.

Instituto Nacional de Ecología (INE).1994. Manejo y rehabilitación de agostaderos de las zonas áridas y semiáridas de México (Región Norte). Libros INE. AE 333. 736153 C655. 115 p.

Houlbrooke, D.J., E.R. Thom, R. Chapman, and C.D.A. McLay. 1997. A study of the effects of soil bulk density on root and shoot growth of different ryegrass lines. New Zealand Journal of Agricultural Research 40:429-435.

Instituto Nacional de Ecología (INE).1994. Manejo y rehabilitación de agostaderos de las zonas áridas y semiáridas de México (Región Norte). AE 333 .736153 C655. Saltillo, Coah. México. 115 p.

Instituto Nacional de Ecología (INE).2007a. IV. Clasificación y nomenclatura de la vegetación de México. *Disponible en:* <http://www2.ine.gob.mx/publicaciones/libros/443/cap4.htm>
I. Consultado 29 de junio de 2012.

Instituto Nacional de Ecología (INE).2007b.I. Reforestación. *Disponible en:* <http://www2.ine.gob.mx/publicaciones/libros/21/reforest.html>. Consultado 13 de junio de 2012.

INEGI. 2011. Estadísticas a propósito del día mundial de la lucha contra la desertificación y la sequía.

<http://www2.ine.gob.mx/publicaciones/libros/21/reforest.html>. Consultado 10 de julio de 2012

Jaramillo V., V. 1994. Revegetación y reforestación de las áreas ganaderas en las zonas áridas y semiáridas de México. SARH-COTECOCA. 48 p.

Jasso I., R., I. Sánchez C., J. J. Stone, M. Velásquez V., M. H. Royo M., J. Estrada-A., J. L. González B. 2005. Los pastizales como productores de agua. Ponencias Magistrales p. 38 – 50. *In: II Simposio Internacional de Manejo de Pastizales Zacatecas, Zac., México 20-21 de abril de 2005.*

Jones, C. 2009. Inquiry into soil sequestration in Victoria. Submission to the Environment and Natural Resources Committee. [www.amazingcarbon.com/PDF/JONES-Soilsequestrationinquiry\(17Dec09\).pdf](http://www.amazingcarbon.com/PDF/JONES-Soilsequestrationinquiry(17Dec09).pdf). 41 p. Consultado en 23 de Septiembre de 2012.

Kéfi, S., M. Rietkerk, C. L. Alados, Y. Pueyo and V. P. Papanastasis. 2007. Spatial vegetation patterns and imminent desertification in Mediterranean arid ecosystems. *Nature* 449:213-217.

Lancaster, Brad. 2010. Rainwater harvesting for drylands and beyond. Vol.2. Water-harvesting earth works. Rain source Press. Tucson, Az. 404 p.

Lang, R. D. 1979. The effect of ground cover on surface runoff from experimental plots. *J. Soil & Water Cons. Service of the New South Wales*. 35: 108 – 114.

López-Franco, Y. L., F. M. Goycoolea, M. A. Valdez y A. M. Calderón de la B. 2006. Goma de mezquite: una alternativa de uso industrial. *Interciencia*. 31: 183 – 189.

Mata, E., M. I., D. Cisneros, A. y J. C. Nevárez M. Infiltración en agostaderos de la región semiárida de Durango México rehabilitados con rodillo aereador. Pag. 16. *In: Memorias del VI Simposio Internacional de Pastizales*. 4 al 7 de Noviembre de 2009. Monterrey, Nuevo León, México.

Millennium Ecosystem Assessment. (MEA). 2005. *Ecosystems and Human Well-being: Desertification Synthesis*. World Resources Institute, Washington, DC. 25 p.

Menocal, S. E. y A. Álvarez M. 2001. Los efectos de la sequía en la ganadería bovina de carne en el sur de Durango, México: hacia una interpretación integral. 241 - 250 pp. *In: Hernández, Lucina (Comp.)*. Historia ambiental de la Ganadería en México. Instituto de Ecología, A.C. Xalapa, Ver. 276 p.

Mollison, Bill. 1991. *Introduction to Permaculture*. 2nd ed. Tagari Publ. Tasmania, Australia. 218 p.

Naeth, M. A., D. J. Pluth, D. S. Chanasyk, A.W. Bailey, and A.W. Fedkenheuer. 1990. Soil compacting impacts of grazing in mixed prairie and fescue grassland ecosystems of Alberta. *Canadian Journal of Soil Science* 70:157-167.

Naeth, M.A., D.J. Pluth, D.S. Chanasyk and R. T. Hardin. 1991. Grazing impact on litter and soil organic matter in mixed prairie and fescue grassland ecosystem of Alberta. *J. Range Manage.* 44: 7 – 12.

Padilla, C. y Y. Sardiñas. 2005. Degradación y recuperación de los pastizales. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*. 39: 515 – 521.

Pellant, M.; P. Shaver; D.A. Pyke & J. E. Herrick. 2005. Interpreting Indicators of Rangeland Health. Versión 4. USDI-BLM. Tech. Ref. 1734-6. Denver, Colo. 122 p.

Pierson, F. B., W. H. Blackburn and S. S. van Vactor. 2007. Hydrologic impacts of mechanical seeding treatments on sagebrush rangelands. *Rangeland Ecol. Manage.* 60: 666 – 674.

Pluhar, J. J., R. W. Knight, and R. K. Heitshmidt. 1987. Infiltration rates and sediment production as influenced by grazing systems in the Texas Rolling Plains. *J. Range Manage.* 40: 240 – 243.

Ramos, G. J. L., L. Reyes M. H. O. Rubio A., E. Esparza L. G. Tirado E., Carlos R. Cruz. V., L. L. Valera M. y J. L. Esquivel de L. 2000. Caracterización técnica de los sistemas productores de carne de bovino, en Aguascalientes. Folleto Científico No 9. Campo Experimental Pabellón, Ags. CIRNOC. INIFAP-SAGAR. 41 p.

Rees, R. M., B. C. Ball, C. D. Campbell, and C. A. Watson. 2001. Sustainable management of soil organic matter. CABI Publishing, New York, NY USA, p. 1-7.

Reyes, Ch. J., F. E. Contreras G. y S. A. Ortega R. 2002. El cultivo del zacate buffel bajo condiciones de secano en la Comarca Lagunera. Folleto para productores N° 4. Campo Experimental de La Laguna. CIRNOC-INIFAP. 7 p.

Sánchez, B., C. 1984. Effects of livestock grazing and exclusion on infiltration and sediments yields for different range sites on El Plateado Watershed. *Zacatecas*,

México. Ph. D. Dissertation. New Mexico State University. Las Cruces, NM. U.S.A.

SAGAR. 1996. Programa de fomento de pastizales. Comisión Técnico Consultiva de Coeficientes de Agostadero. 29 p.

Saour H. M., R. Al Tabini, K. Al Khalidi and J. Y. Ayad. **2011.** Effect of three water harvesting techniques on forage shrub and natural vegetation in the Badia of Jordan. *International Journal of Botany*. 7: 230-236.

SARH. 1978. Estadísticas del recurso forestal de la República Mexicana. S. F. F. Dir. Gral. Inventario Forestal. Pp. 6 -24. México.

Savory, Allan. 1999. Holistic management. A new framework for decision making. 2nd ed. Island Press. 616 p.

SEMARNAT. 2011. Estrategia Nacional de Manejo Sustentable de Tierras. México, D.F. 112 p.

Schreiber, H. A. and G. W. Frasier. 1978. Increasing rangeland forage production by water harvesting. *J. Range Manage.* 31: 37 – 40.

Serrato, S., R. C. C.M., Valencia, O. F., Del Rio. 1999. Interrelaciones entre variables del suelo y de las gramíneas en el pastizal semiárido del norte de Durango. *TERRA*, 17 (1):27-34.

Strunk, H. 2003. Soil degradation and overland flow as causes of gully erosion on mountain pastures and in forests. *Catena* 50:185-198.

Suleman, S., M. K. Wood, B. H. Shah and L. Murray.1995. Development of a rainwater harvesting system for increasing soil moisture in arid rangelands of Pakistan. *J. of Arid Environments*. 31: 471 – 481.

Tate, K. W., D. M. Dudley, N. K. McDougald, and M. R. George.2004. Effect of canopy and grazing on soil bulk density. *J. Range Manage.* 57: 411 – 417.

Tromble, J. 1982. Water ponding for increasing soil water on arid rangelands. *Journal of Range Manage.* 35: 601 - 603. United Nations Conference on Desertification (Document and Maps. A/CONF. 74/31. 1977).

United Nations Conference on Desertification (UNCOD). 1977. Draft Plan of action to combat desertification. Nairobi, Kenya.

UNCCD. 2008 . Land degradation to land health. Brief for policy makers. 2 p.

UNCCD. 2012. Desertification: a Visual Synthesis. Bonn, Germany. 50 p.

Van Haveren, B.P. 1983. Soil bulk density as influenced by grazing intensity and soil type on a short grass prairie site. *Journal of Range Manage.* 36: 586-588.

Vásquez-Méndez, R., E. Ventura-Ramos, K. Oleschko, L. Hernández-Sandoval and M. A. Domínguez-Cortázar. 2011. Chapter 2. Soil erosion processes in semiarid areas: The importance of native vegetation. Pp 25 -40. *In: Soil Erosion Studies*. [D. Godone and S. Stanchi](#) eds. InTech. 320 p. DOI: 10.5772/1820.

Velásquez, V. M. A., R. Gutiérrez L. y J. A. Muñoz V. 2011. Manejo de la vegetación y su impacto en la respuesta hidrológica del suelo en un pastizal semiárido. *Ingeniería Agrícola y Biosistemas*. 3: 17 – 23.

Villegas D. G., A. Bolaños M. y L. Olgún P. 2001. *La ganadería en México*. México. Temas selectos de Geografía de México. Instituto de Geografía, UNAM. Plaza y Valdés Editores. S.A. de C.V. 163 p.

Warren, S. D., W. H. Blackburn, and C. A. Taylor, Jr. 1986a. Effects of season and stage of rotation cycle on hydrologic condition of rangeland under intensive rotation grazing. *J. Range Manage.* 39: 486 – 490.

Warren, S. D., W. H. Blackburn, and C. A. Taylor, Jr. 1986b. Soil hydrologic response to number of pastures and stocking density under intensive rotation grazing. *J. Range Manage.* 39: 500 – 504.

Warren, S.D. 1987. Soil hydrologic response to intensive rotation grazing: A state of knowledge. Pp. 488 – 501. *In*: Y.S. Fok. (ed) *Proceedings of the International Conference on Infiltration Development and Application*. January 6 – 9, 1987. Water Resources Research Center, University of Hawaii at Manoa, Honolulu, Hawaii, USA.

Wei, Ch., Gao, M., Shao, X. & Pan, G. 2006. Soil aggregate and its response to land management practices. *China Particuology* 4:211-219.

Wilcox, B. P., M. K. Wood, and J. M. Tromble. 1988. Factors influencing infiltrability of semiarid mountain slopes. *J. Range Manage.* 41: 197 – 206.

Para cualquier solicitud en la implementación de las prácticas de conservación de humedad descritas en esta publicación favor de acudir a:

Dr. Miguel Aguntín Velásquez Valle

**CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN
DISCIPLINARIA EN RELACIÓN AGUA – SUELO –
PLANTA – ATMÓSFERA (CENID-RASPA) DEL INIFAP.**

**Km. 6.5 Margen derecha Canal Sacramento
35140. Gómez Palacio, Durango.
Teléfono: (871) 1 59 01 04
MÉXICO**

Dr. Ramón Gutiérrez Luna

**CAMPO EXPERIMENTAL DE ZACATECAS-CIRNOC-
INIFAP**

**Km. 24.5 Carretera Zacatecas-Fresnillo. 98500.
Calera de Víctor Rosales, Zacatecas.
Teléfono: (478) 9 85 01 98
MÉXICO.**

Comité Editorial del CEZAC-CIRNOG-INIFAP

- Dr. Alfonso Serna Perez (Secretario)
- Dr. Guillermo Medina García (Vocal)
- Dr. Francisco G. Echavarría Chaires (Vocal)

Revisión técnica:

- Dr. Guillermo Medina García
- Ing. Manuel Reveles Hernández

Esta publicación se terminó de imprimir en el mes de
Diciembre de 2012 en Los Talleres de Carmona
Impresores S. A. de C. V.

Su tiraje consta de 2000 ejemplares.

SAGARPA

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



**Esta publicación es un producto del Proyecto
“Transferencia de tecnología para prevención y
manejo de sequía para ganadería, en las zonas
áridas de México”, financiado por COFUPRO.**

CAMPO EXPERIMENTAL ZACATECAS
DIRECTORIO

Dr. Francisco G. Echavarría Cháirez Director de Coordinación y
Vinculación

PERSONAL INVESTIGADOR

Dr.	Guillermo Medina García	Agrometeorología y Modelaje
MC.	Nadiezhdá Y. Ramírez Cabral	Agrometeorología y Modelaje
MC.	Juan Carlos López García	Carne de Rumiantes
Dr.	Manuel de Jesús Flores Nájera	Carne de Rumiantes
Dr.	Alfonso Serna Pérez	Fertilidad de suelos y nutrición vegetal
Ing.	Miguel Servin Palestina	Fertilidad de suelos y nutrición vegetal
Ing.	José Ángel Cid Ríos	Frijol y Garbanzo
Dr.	Jorge A. Zegbe Domínguez	Frutales
Ing.	Ma. Guadalupe Zacatenco González	Frutales
MC	Valentín Melero Meraz	Frutales
Ing.	Manuel Reveles Hernández	Hortalizas
Dra.	Raquel Cruz Bravo	Inocuidad de Alimentos
MC	Enrique Medina Martínez	Maíz
MC.	Francisco A. Rubio Aguirre	Pastizales y Cultivos Forrajeros
Dr.	Ramón Gutiérrez Luna	Pastizales y Cultivos Forrajeros
Ing.	Ricardo A. Sánchez Gutiérrez	Pastizales y Cultivos Forrajeros
Dr.	Luis Roberto Reveles Torres	Recursos Genéticos: Forestales, Agrícolas, Pecuarios y Microbianos
Dr.	Jaime Mena Covarrubias	Sanidad Forestal y Agrícola
Dr.	Rodolfo Velásquez Valle	Sanidad Forestal y Agrícola
MC.	Blanca I. Sánchez Toledano	Socioeconomía



www.gobiernofederal.gob.mx

www.sagarpa.gob.mx

www.inifap.gob.mx

