

Informe final* del Proyecto CJ068
Recuperación y conservación de suelos mediante presas de control de azolves, en la
cuenca de Burgos

| | |
|--|---|
| Responsable: | Dr. Héctor Rodríguez Rodríguez |
| Institución: | Universidad Autónoma de Tamaulipas Unidad Académica Multidisciplinaria Agronomía y Ciencias |
| Dirección: | Centro Universitario Adolfo López Mateos, Ciudad Victoria, Tam, 87049 , México |
| Correo electrónico: | hrodriguez@uat.edu.mx |
| Teléfono/Fax: | Tel y fax: 01 (834) 318 1718 ext. 2151 |
| Fecha de inicio: | Octubre 29,2004 |
| Fecha de término: | Octubre 16,2008 |
| Principales resultados: | Hoja de cálculo, Cartografía, Informe final, Fotografías |
| Forma de citar** el informe final y otros resultados: | Rodríguez Rodríguez, H 2008. Recuperación y conservación de suelos mediante presas de control de azolves, en la cuenca de Burgos Universidad Autónoma de Tamaulipas. Unidad Académica Multidisciplinaria Agronomía y Ciencias. Informe final SNIB-CONABIO proyecto No. CJ068. México D. F. |
| Forma de citar Hoja de cálculo | Rodríguez Rodríguez, H 2008. Recuperación y conservación de suelos mediante presas de control de azolves, en la cuenca de Burgos Universidad Autónoma de Tamaulipas. Unidad Académica Multidisciplinaria Agronomía y Ciencias. Hoja de cálculo SNIB-CONABIO proyecto No. CJ068. México D. F. |

Resumen:

Proyecto financiado con recursos aportados por Pemex – PEP. En el año del 2005 se firmó un convenio de colaboración entre la CONABIO y la UAT, para desarrollar en la zona II de la Cuenca de Burgos, un proyecto que tuvo como objetivo llevar a cabo prácticas de restauración de suelos, mediante la construcción de 590 presas de control de azolve, la reforestación de 15 km y llevar a cabo cursos teóricos prácticos a productores. Se trabajó en siete comunidades ejidales y dos ranchos particulares. Como primera actividad se identificaron las cárcavas, estimándose sus parámetros hidráulicos, de acuerdo con los resultados se identificaron 132 cárcavas, que debido a sus condiciones de tamaño y modificaciones realizadas por los productores y empresas que trabajan para PEMEX, solamente se trabajaron en 83 de ellas, con una longitud total de 21,265 m, y una masa de suelo desplazada de 21,632.17 ton. Los resultados de la medición muestran que la zona norte se presenta los mayores problemas de erosión principalmente en el Ejido Anacuas No. 2. Así mismo los resultados indican que la mayor proporción de cárcavas tienen longitudes entre 51 y 100 m que equivale al 20.48%, la profundidad media fue de 0.33 a 0.50, m. El ancho varió de 1.61 a 2.9 m, la velocidades del flujo estimadas fueron mayores de 1.8 m/seg, por lo cual se consideran como erosivas superando lo permisible que es de 0.70 m/seg. Por ser la parte más afectada en la comunidad de Anacuas No. 2 ahí se construyeron 286 presas, que representan el 48% del total. El efecto de la construcción de las obras se manifestó después de que se presentó en la zona el huracán Emily, especialmente en el Rancho Santa Clara del Orégano donde se observaron niveles hasta de 30 cm, de altura con azolve. Para evaluar el efecto de las acciones se hicieron tres muestreos a 61 obras. Los resultados muestran que en promedio cada obra tiene una capacidad de retención de 16.89 ton de suelo, con una capacidad potencial de 9,964.25 ton.

Los análisis de varianza fueron significativos en cuanto al sitio, y uso del suelo, en el primer caso el factor que intervino es la topografía, siendo en la comunidad de Francisco Villa donde el comportamiento de las presas fue diferente. En cuanto al uso se observó que en aquellos suelos que están con pastos el efecto negativo de las obras de PEMEX, es menor ya que en promedio retuvieron 6.48 ton por obra, ya que estos cubren el suelo todo el año y cuando las condiciones son adecuadas se pueden desarrollar a otras áreas. En segundo término los suelos con

vegetación natural, específicamente el Matorral Espinoso Tamaulipeco fue el que tuvo un mejor control en la erosión de suelos, especialmente cuando dentro de la cárcava y como efecto positivo del azolve se tuvo una regeneración de vegetación, en cambio los suelos de uso agrícola fueron los que provocaron un mayor escurrimiento de azolve, teniéndose valores promedio de 24.21 ton por presa, ya que el suelo permanece desnudo al menos seis meses al año y con la presencia de la lluvias que se caracterizan por ser torrenciales se tienen varios flujos de agua en la superficie, por lo que en una cárcava puede tener aportaciones laterales, como fue el caso de Escuadrón 201.

En cuanto a la reforestación se realizó en dos etapas una en el mes de septiembre de 2005 con una longitud de 7.2 km, y la otra en el mes de octubre y noviembre de 2006, los 7.8 km restantes, la planta fue proporcionada por la CONAFOR, en forma general se tuvo una sobrevivencia del 30%, que para condiciones de temporal es aceptable. En cuanto a la capacitación se dieron cuatro cursos talleres donde se explicó a los participantes la importancia que puede tener la restauración de suelo desde el punto de vista productivo y ambiental. Como conclusión general se tiene que las acciones realizadas tuvieron un efecto positivo en la restauración de suelos ya que los resultados se manifestaron en todas las localidades de trabajo. Por lo que es necesario que en todas las obras relacionadas con la extracción de gas, se realicen trabajos de restauración ya que la zona II de la Cuenca de Burgos ha sido ampliamente afectada por esta actividad.

-
- * El presente documento no necesariamente contiene los principales resultados del proyecto correspondiente o la descripción de los mismos. Los proyectos apoyados por la CONABIO así como información adicional sobre ellos, pueden consultarse en www.conabio.gob.mx
 - ** El usuario tiene la obligación, de conformidad con el artículo 57 de la LFDA, de citar a los autores de obras individuales, así como a los compiladores. De manera que deberán citarse todos los responsables de los proyectos, que proveyeron datos, así como a la CONABIO como depositaria, compiladora y proveedora de la información. En su caso, el usuario deberá obtener del proveedor la información complementaria sobre la autoría específica de los datos.



CONABIO



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE TAMAULIPAS

COMISIÓN NACIONAL PARA EL
CONOCIMIENTO Y USO DE LA
BIODIVERSIDAD

“INFORME FINAL”

RECUPERACIÓN Y CONSERVACIÓN DE SUELOS
MEDIANTE PRESAS DE CONTROL DE AZOLVES, EN LA
CUENCA DE BURGOS
PROYECTO CJO68



Índice de cuadros

| Número de Cuadro | Página |
|---|---------------|
| Cuadro 2.1. Localización de los dos sitios de Trabajo..... | 4 |
| Cuadro 2.2. Especies del Matorral Espinoso Tamaulipeco..... | 8 |
| Cuadro 2.3. Especies del estrato arbustivo..... | 9 |
| Cuadro 2.4. Volumen de forestal removido por PEMEX..... | 10 |
| Cuadro 2.5. Estimación de volúmenes de afectación por pozo y tipo de vegetación (m ³ ha ⁻¹). | 11 |
| Cuadro 2.6. Personas ocupadas de acuerdo a sector económico..... | 20 |
| Cuadro 4.1. Distribución de cárcavas y sus características físicas por comunidad..... | 35 |
| Cuadro 4.2. Variación de la longitud de las cárcavas medidas..... | 37 |
| Cuadro 4.3. Parámetros, promedio de las cárcavas evaluadas en las localidades de trabajo..... | 39 |
| Cuadro 4.4. Relación de sitio y número de represas construidas..... | 41 |
| Cuadro 4.5. Valores de promedio de suelo retenido por represa por sitio evaluado..... | 42 |
| Cuadro 4.6. Resultados del Análisis de varianza, considerando las fechas de muestreo..... | 46 |
| Cuadro 4.7. Resultados del Análisis de varianza, considerando los valores totales de muestreo | 46 |
| Cuadro 4.8. Prueba de comparación de medias de Tukey, en las tres fechas de muestreo, con relación al sitio | 48 |
| Cuadro 4.9. Prueba de comparación de media Tukey cantidades totales con relación al sitio..... | 48 |
| Cuadro 4.10. Prueba de comparación de medias de las variables de respuesta con relación al uso del suelo..... | 51 |
| Cuadro 4.11. Prueba de comparación de medias de las variables de respuesta con relación al uso del suelo..... | 51 |
| Cuadro 4.12. Cantidad de suelo retenido con base al uso de suelo..... | 52 |
| Cuadro 4.13. Resultado del análisis de correlación de las variables analizadas..... | 59 |
| Cuadro 4.14. Localidades donde se impartieron los cursos de capacitación.... | 61 |

Índice de figuras

| Número de figura | Página |
|---|--------|
| Figura 2.1. Vegetación Matorral espinoso Tamaulipeco localizado en el Rancho Buenos Aires..... | 8 |
| Figura 2.2. Material utilizado para la verificación de las características de los suelos, en los sitios de trabajo..... | 12 |
| Figura 2.3. Unidad de suelos Xerosol..... | 14 |
| Figura 2.4. Verificación de las propiedades de la unidad de suelos Vertisol. ... | 16 |
| Figura 2.5. Suelos rendzina con pendientes mayores de 5%, y con afloramiento rocoso..... | 17 |
| Figura 2.6. Suelos catañosem, de uso agrícola, con pendientes casi plana..... | 18 |
| Figura 2.7. Efecto de la construcción de caminos de acceso en la formación de cárcavas, en el rancho Santa Clara del Orégano..... | 21 |
| Figura 2.8. Efecto de los pozos de extracción sobre la erosión hídrica en el área de pastizales, en Anacuas No. 2..... | 22 |
| Figura 3.1 Localización del sitio de estudio..... | 24 |
| Figura 4.1. Suelos delgados que son desmontados, para incorporarlos a un uso agrícola, en el Ejido Anacuas No. 2..... | 34 |
| Figura 4.2. Control de la erosión hídrica en el Ejido Escuadrón Doscientos uno No. 1..... | 42 |
| Figura 4.3. Efecto del reforzamiento en el Rancho Santa Clara del Orégano, en áreas con aportaciones laterales y de mayor pendiente..... | 44 |
| Figura 4.4. Cárcavas números 77 y 97, estabilizadas en un predio con pasto buffel en el Ejido Anacuas No. 2..... | 52 |
| Figura 4.5. Influencia de la vegetación en la estabilización de una cárcava | 53 |
| Figura. 4.6. Distribución de la retención de azolve en la cárcava cuatro en el Ejido Escuadrón 201..... | 55 |
| Figura. 4.7. Distribución de la retención de azolve en la cárcava cuatro en el Ejido Francisco Villa..... | 56 |
| Figura. 4.8. Distribución de la retención de azolve en nueve represas, en la cárcava cuatro, localizada en Santa Clara del Orégano..... | 57 |
| Figura. 4.9. Distribución de la retención de azolve en tres represas de noventa y tres la cárcava noventa y tres del ejido Anacleto Guerrero..... | 58 |

Resumen

En el año del 2005 se firmó un convenio de colaboración entre la Comisión Nacional Para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad y la Universidad Autónoma de Tamaulipas, para desarrollar en la zona II de la Cuenca de Burgos, un proyecto que tuvo como objetivo llevar a cabo prácticas de restauración de suelos, mediante la construcción de 590 presas de control de azolve, la reforestación de 15 km y llevar a cabo cursos teóricos prácticos a productores. Se trabajó en siete comunidades ejidales y dos ranchos particulares. Como primera actividad se identificaron las cárcavas, estimándose sus parámetros hidráulicos, de acuerdo con los resultados se identificaron 132 cárcavas, que debido a sus condiciones de tamaño y modificaciones realizadas por los productores y empresas que trabajan para PEMEX, solamente se trabajaron en 83 de ellas, con una longitud total de 21,265 m, y una masa de suelo desplazada de 21,632.17 ton. Los resultados de la medición muestran que la zona norte se presenta los mayores problemas de erosión principalmente en el Ejido Anacuas No. 2. Así mismo los resultados indican que la mayor proporción de cárcavas tienen longitudes entre 51 y 100 m que equivale al 20.48%, la profundidad media fue de 0.33 a 0.50, m. El ancho varió de 1.61 a 2.9 m, la velocidades del flujo estimadas fueron mayores de 1.8 m/seg, por lo cual se consideran como erosivas superando lo permisible que es de 0.70 m/seg. Por ser la parte más afectada en la comunidad de Anacuas No. 2 ahí se construyeron 286 presas, que representan el 48% del total. El efecto de la construcción de las obras se manifestó después de que se presentó en la zona el huracán Emily, especialmente en el Rancho Santa Clara del Orégano donde se observaron niveles hasta de 30 cm, de altura con azolve. Para evaluar el efecto de las acciones se hicieron tres muestreos a 61 obras. Los resultados muestran que en promedio cada obra tiene una capacidad de retención de 16.89 ton de suelo, con una capacidad potencial de 9,964.25 ton.

Los análisis de varianza fueron significativos en cuanto al sitio, y uso del suelo, en el primer caso el factor que intervino es la topografía, siendo en la comunidad de Francisco Villa donde el comportamiento de las presas fue diferente. En cuanto al uso se observó que en aquellos suelos que están con pastos el efecto negativo de las obras de PEMEX, es menor ya que en promedio retuvieron 6.48 ton por obra, ya que estos cubren el suelo todo el año y cuando las condiciones son adecuadas se pueden desarrollar a otras áreas. En segundo término los suelos con vegetación natural, específicamente el Matorral Espinoso Tamaulipeco fue el que tuvo un mejor control en la erosión de suelos, especialmente cuando dentro de la cárcava y como efecto positivo del azolve se tuvo una regeneración de vegetación, en cambio los suelos de uso agrícola fueron los que provocaron un mayor escurrimiento de azolve, teniéndose valores promedio de 24.21 ton por presa, ya que el suelo permanece desnudo al menos seis meses al año y con la presencia de la lluvias que se caracterizan por ser torrenciales se tienen varios flujos de agua en la superficie, por lo que en una cárcava puede tener aportaciones laterales, como fue el caso de Escuadrón 201.

En cuanto a la reforestación se realizó en dos etapas una en el mes de septiembre de 2005 con una longitud de 7.2 km, y la otra en el mes de octubre y noviembre de 2006, los 7.8 km restantes, la planta fue proporcionada por la CONAFOR, en forma general se tuvo una sobrevivencia del 30%, que para condiciones de temporal es aceptable. En cuanto a la capacitación se dieron cuatro cursos talleres donde se explicó a los participantes la importancia que puede tener la restauración de suelo desde el punto de vista productivo y ambiental. Como conclusión general se tiene que las acciones realizadas tuvieron un efecto positivo en la restauración de suelos ya que los resultados se manifestaron en todas las localidades de trabajo. Por lo que es necesario que en todas las obras relacionadas con la extracción de gas, se realicen trabajos de restauración ya que la zona II de la Cuenca de Burgos ha sido ampliamente afectada por esta actividad.

| Contenido | Página |
|--|---------------|
| I. INTRODUCCIÓN | 1 |
| Objetivo | 2 |
| II. ANTECEDENTES | 3 |
| 2.1. Definición de erosión | 3 |
| 2.2. Origen de las cárcavas | 4 |
| III. CONTROL DE LA EROSIÓN HÍDRICA | 7 |
| 3.1. Recuperación de áreas erosionadas | 7 |
| 3.2. Estabilización de la cárcava | 7 |
| 3.3. Diseño de represas | 11 |
| 3.3.1. Espaciamiento de las presas | 12 |
| 3.3.2. Altura de la presas | 14 |
| 3.4. Tipos de represas para el control de azolve | 14 |
| 3.4.1. Presas de malla de alambre | 14 |
| 3.4.2. Presas de Piedra | 16 |
| 3.4.3. Costales de arena | 17 |
| 3.4.4. Presa de Gaviones | 18 |
| 3.5. Mantenimiento de represas filtrantes | 18 |
| 3.6 Conclusión | 19 |
| IV. BIBLIOGRAFÍA | 19 |

I. INTRODUCCIÓN

La erosión del suelo es causada por factores naturales, topográficos, así como la actividad humana. Cuando predomina esta última, la erosión es inducida o acelerada, y se facilita a través del uso o manejo de la tierra por el hombre, fundamentalmente por sus efectos en la cubierta vegetal. La influencia del hombre sobre la erosión es compleja, no muy entendible difícil de cuantificar; sin embargo, se han determinado algunos factores socioeconómicos que influyen en la erosión como son: la presión demográfica, tenencia de la tierra, falta de información técnica, dificultad para admitir innovaciones y mal ingreso de las actividades primarias. Parte de lo anterior, sucede en la Cuenca de Burgos, donde las medidas de conservación del suelo son mínimas, además son áreas de temporal donde los suelos tienen problemas de fertilidad. PEMEX, tiene una gran actividad en la extracción de gas natural e inciden exactamente en la región. La Cuenca de Burgos, constituye la reserva de gas no asociado al petróleo más importante del país, con una superficie de 50 mil kilómetros cuadrados. El área cuenta con posibilidades de mayor extensión, lo que permitiría alcanzar los 110 mil kilómetros cuadrados, si se consideran, además de Burgos, las cuencas geológicas de Sabinas y Piedras Negras. Actualmente, la producción de gas seco en esta zona cubre una superficie de 29 mil kilómetros cuadrados y se obtienen más de mil millones de pies cúbicos diarios. Esta producción representa el 80 por ciento del total de gas no asociado y casi una cuarta parte de la producción total de gas en México. La principal característica geológica de esta región es que está integrada por cientos de pequeños yacimientos de carácter marginal, aislados unos de otros y localizados a muy diversas profundidades, lo que propicia, que se tiene que dedicar grandes áreas para la explotación de pozos, construcción de caminos, estaciones de bombeo, gasoductos, etc.

Por otra parte, algunas veces, la erosión hídrica y la escorrentía superficial de agua son aceptadas como un fenómeno inevitable, asociado a la agricultura en terrenos con pendientes. Sin embargo, la pérdida de suelo y la escorrentía no son fenómenos naturales inevitables. Según Lal (1982), el surgimiento de daños causados por la

erosión en áreas cultivadas no es más que un síntoma de que fueron empleados métodos de cultivo inadecuados para determinada área y su ecosistema, así como actividades, donde la prioridad no es precisamente la conservación de los recursos. En otras palabras prácticas inadecuadas que han sido utilizadas. No es la naturaleza (relieve e intensidad de lluvias), sino son los métodos irracionales de cultivo utilizados por el hombre, los responsables por la erosión y sus consecuencias negativas. El hombre puede controlar eficazmente la erosión, reducir la escorrentía y aumentar la infiltración de agua en sus campos.

1.1 Objetivo

Desarrollar una metodología sencilla sobre la construcción de represas de control de azolve, con distintos tipos de materiales, de acuerdo con las experiencias de trabajo, en el control de la erosión hídrica en la Universidad Autónoma de Tamaulipas.

II. ANTECEDENTES

2.1. Definición de erosión.

El deterioro de la tierra es un problema ecológico que se está haciendo más importante en los países en desarrollo, propiciando una disminución o destrucción del potencial biológico de los recursos naturales ocasionado por el mal uso y manejo de los mismos, en consecuencia hay una degeneración del medio físico, económico y social de las poblaciones involucradas en su entorno (Ortiz *et al.*, 1994). El principal proceso es la erosión hídrica y la eólica, es relativo al desprendimiento y arrastre de los materiales físicos del suelo, causados por el agua y el viento (Anaya, *et al*, 1981).

En general, se distinguen dos tipos de procesos erosivos: la “natural” o “geológica”, que se desarrolla en condiciones de equilibrio con la formación del suelo, y erosión “acelerada” o “antrópica”, cuya intensidad, es superior a la formación del suelo, no permitiendo su recuperación natural.

La erosión geológica, ocurre como consecuencia de la fuerza de la naturaleza. Este tipo de erosión actúa sin la intervención del hombre y participa en la formación del suelo. La erosión inducida es la que opera cuando el proceso de la pérdida del suelo es debido al mal manejo de suelo por el hombre (Anaya, *et al*, 1981). Se entiende por erosión el proceso de “desagregación y remoción de partículas del suelo o de fragmentos y partículas de rocas, por la acción combinada de la gravedad con el agua, viento, hielo y organismos.



Figura 1. Proceso de la erosión eólica e hídrica en el municipio de San Fernando Tams.

2.2. Origen de las cárcavas.

Dependiendo de la forma en que se da el escurrimiento superficial a lo largo de la vertiente, se pueden desarrollar dos tipos de erosión: erosión laminar cuando es provocada por escurrimiento superficial difusa de las aguas de lluvia, teniendo como resultado la remoción progresiva y relativamente uniforme de los horizontes superficiales del suelo; o en cárcavas, por concentración de las líneas de flujo de las aguas de escurrimiento superficial, resultando en pequeñas incisiones en la superficie del terreno, en forma de surcos, que pueden evolucionar por profundización transformándose en barrancos o cárcavas (FAO,1997).

Una cárcava es producida por la socavación (excavación) repetida sobre el terreno, debido al flujo incontrolado de los escurrimientos superficiales. La presencia de cárcavas en un terreno, indica un grado avanzado de erosión, ya que por lo general, estas se inician después de que una parte del suelo superficial ha sido arrastrado a causa de la fuerte erosión laminar. Al iniciarse el proceso de la formación de cárcavas, se presenta el estado de zanjado incipiente, o sea aquel en el que la cárcava empieza a notarse sobre el terreno, debido a que el agua que escurre tiende a concentrarse para formar pequeñas corrientes o canalillos que poco a poco convergen entre si, para dar origen a otros de mayores dimensiones en anchura y profundidad. El punto crítico que

da origen a una cárcava, se caracteriza por una concentración del escurrimiento superficial debido a causas diversas, dentro de las principales se tienen las siguientes FAO (1984):

1. Lluvias fuertes que impactan sobre suelos desprovistos de cubierta vegetal.
2. Concentración de las aguas de lluvia en depresiones naturales.
3. Falta de protección en los caminos y veredas.
4. Ruptura de una terraza ocasionada por un alto volumen de agua.
5. Desbordamiento o ruptura de un canal.
6. Cambio brusco de una cubierta vegetal, o de uso del suelo.

Se le considera a la cárcava, como el estado más avanzado de la erosión en surcos, la cual es la más perceptible, tiene su origen a causa del escurrimiento superficial del agua que se concentra en sitios irregulares, depresiones superficiales del suelo, desprotegido de cubiertas vegetales y arados de manera inadecuada. En función de la pendiente y de la longitud del terreno, el flujo concentrado, provoca el aumento de las dimensiones de los surcos formados inicialmente, hasta transformarse en grandes zanjas llamadas cárcavas, éstas se clasifican según su tamaño, de tal manera que se consideran: pequeñas cuando la profundidad es menor de 2.5 m, son medianas cuando la profundidad varía entre 2.5 y 4.5 m y grandes cuando tienen más de 4.5 m de profundidad (FAO, 1998).

En conclusión, en una cárcava se presentan diversos fenómenos de erosión: superficial, interna, descalzamiento y desmoronamientos, generando procesos de alto poder destructivo, que se manifiesta de manera evidente en enormes superficies, que afectan zonas de producción agrícola, carreteras, obras públicas, etc.

De acuerdo con Rodríguez (1990), en la república mexicana se tienen un total de 1'956,560 km² con problemas de erosión, las cuales se clasifican en los siguientes niveles. Erosión ligera con 711,048 km² de moderada 675,460 km², severa 400,365 km² y muy severa 169,687 km².

La lámina de lluvia que no penetra en el suelo por medio de la infiltración, la que es mantenida en depresiones sobre la superficie del suelo, llega a formar corrientes superficiales, cuando éstos fluyen por la pendiente de una ladera, se juntan con los escurrimientos de otras áreas, en consecuencia estas corrientes aumentan su caudal, tanto en volumen como en velocidad, los escurrimientos adquieren energía cuando van descendiendo por una pendiente. La magnitud con que la erosión reduce la fertilidad del suelo no es completamente diferenciada o apreciada, porque el viento y el agua separan primeramente las partículas mas ligeras que contienen dicha fertilidad. De esta manera, resulta que cuando se detecta la erosión, una proporción considerable de la fertilidad del suelo ya se ha perdido. Sin embargo, la erosión, remueve varias veces tanto alimento para la planta, equiparable con el que absorben las plantas para su desarrollo (FAO, 1984).

III. CONTROL DE LA EROSIÓN HÍDRICA.

3.1. Recuperación de áreas erosionadas

Si las dimensiones de la cárcava no son muy grandes y si los beneficios esperados pueden compensar la inversión, se recomienda la recuperación de la zanja; es decir, tapar la cárcava con tierra, recuperando el área e incorporándola nuevamente al proceso productivo. Esta medida es recomendable en áreas de alto valor y con buena productividad con cultivos anuales, o con un uso que ambientalmente sea conveniente. Una vez recubierta, debe procederse a la nivelación con relación a las áreas adyacentes e implementar la adopción de prácticas conservacionistas que no permitan la reiniciación del proceso. Es necesario que se proceda periódicamente a la nivelación del área, en virtud del proceso natural de compactación del suelo recubierto.

3.2. Estabilización de la cárcava

En caso que la recuperación de la cárcava no sea técnica o económicamente viable, se recomienda seguir los siguientes pasos:

Suavizar los taludes para impedir que el proceso de desbarrancamiento continúe; esta práctica puede realizarse con tractor de barra con lámina frontal, o manualmente con azadón o pala. Si después de haber cercado el área, el crecimiento de la vegetación natural no fuera suficiente para hacer un buen control, se deberá realizar la plantación de algún tipo de vegetación en función del futuro del área.

Para cárcavas pequeñas, más anchas que profundas, con poca pendiente y cuya cuenca de captación no sea muy grande, puede utilizarse vegetación. En este caso, se podrá transformar el área en pastizal, utilizando gramíneas forrajeras; o, si se desea que el área sea destinada a protección natural, reserva forestal o para la producción industrial de madera, se deberán escoger los árboles más adaptados a la región y de más rápido crecimiento. Se recomienda la siembra o plantación en líneas

perpendiculares a la pendiente de la cárcava, de manera que se formen pequeños escalones defensivos. Los arbustos reducen la velocidad del agua en el interior de la cárcava, resultando en deposición de sedimentos, lo que favorece el establecimiento de nueva vegetación.

Cuando se tiene áreas afectadas por el proceso de la erosión, además que el costo de la restauración del suelo es elevado, los resultados comúnmente son a mediano y largo plazo, y además de que las zonas afectadas dejan de producir. Por lo que es necesario realizar prácticas vegetativas que conserven el suelo y al mismo tiempo están sujetos a una actividad productiva. Botero y Russo (2002), citan que el desarrollo de la agroforestería, los árboles y arbustos fijadores de nitrógeno (AFN) pueden asociarse con cultivos agrícolas (Sistema Agroforestal), con pasturas para pastoreo (Sistema Silvopastoril), ser mantenidos alternando entre cultivos agrícolas y pasturas (Sistema Agrosilvopastoril) y también como bancos forrajeros y como cercos vivos (Figura 2)



Figura 2. Sistema Agroforestal de cedro y cultivos anuales. Así como cercos vivos de ébano dentro del distrito de temporal Tecnificado 005 Pujal Coy II Fase, S. L. P, y Tams.

En la agroforestería desarrollada con AFN se crean interacciones biológicas, ecológicas y económicas, las cuales pueden contribuir a lograr una producción sostenible. Algunas de las interacciones que han sido definidas por varios autores son:

1- Los arbustos y árboles mejorar las condiciones físicas del suelo (porosidad y densidad aparente). Su efecto de descompactación es positivo y relevante en áreas degradadas, a causa de la compactación del suelo, ocasionada por la mecanización y/o el pisoteo continuo del ganado.

2- Los AFN incrementan el nivel de nitrógeno en el suelo debido a su capacidad de fijarlo de la atmósfera, a través de la simbiosis con bacterias en sus raíces, y por medio del aporte de materia orgánica hecho al suelo a través de la caída periódica o estacional, natural o provocada (cosecha), de hojas, flores, frutos, ramas y raíces muertas.

3- Crean un microclima favorable para los animales en pastoreo (sombra, menor radiación y menor temperatura). La intensidad de su sombra depende de la densidad y orientación de los surcos de árboles y del diámetro y estructura de sus copas.

4- Los AFN pueden competir con la pastura y con los cultivos agrícolas por agua, nutrimentos, luz y espacio. Los efectos de la competencia pueden ser mayores si los requerimientos de ambos componentes son similares. La caída natural de hojas y las podas ayudan a incrementar la disponibilidad de agua, de luz y de nutrimentos para todos los componentes del sistema.

5- Los animales pueden consumir las legumbres o frutos, aprovechando sus nutrimentos, escarifican las semillas que contienen y las dispersan en las heces. Esto favorece su germinación y evita el consumo de las plántulas por parte de los animales, hasta tanto las excretas se incorporen al suelo transformadas en materia orgánica (Botero y Russo, 2002).

La Universidad Autónoma de Tamaulipas ha venido trabajando con éxito desde el año 2000, en el Distrito de Temporal Tecnificado 005 Pujal Coy II fase, San Luis Potosí y Tamaulipas, a través de técnicas de propagación vegetativa, con el objetivo de conservar el suelo, parte de los trabajos consisten en el establecimiento de cercos vivos

con varetas de cocuite o también conocido como palo de sol (*Gliricidia sepium*), que es una leguminosa forrajera de porte arbóreo palatable (apetitosa) por el ganado cuando su estado vegetativo es temprano (tierno); en la actualidad se ha transplantedo una superficie equivalente de 15,000 hectáreas que se protegen de la erosión hídrica. El procedimiento de siembra consistió en realizar primeramente la limpia de los sitios de establecimiento y posteriormente el trazo en una sola hilera, alrededor de los predios, tanto pecuarios como agrícolas, a una distancia entre varetas de 3 m. Así como el fomento de sistemas de silvo pastoriles, utilizando la leucaena (*Leucaena leucocephala*) y pastos inducidos, que además que previenen la erosión, se enfoca a una actividad económica.



Figura 3. Predio ganadero con cerco vivo de cocuite (*Gliricidia sepium*), así como un banco de proteína de leucaena, (*Leucaena leucocephala*), con pastos en el Municipio Tamuin, S.L.P.

Para cárcavas mayores, es necesario utilizar estructuras temporales o permanentes. Las estructuras temporales deben ser de fácil y rápida construcción, usando materiales baratos y de fácil disponibilidad. Se recomienda la construcción de varias estructuras a lo largo del lecho de la cárcava, de altura no superior a los dos metros, distribuidas a intervalos uniformes o en posiciones estratégicas, de manera que protejan los puntos críticos y faciliten el crecimiento de vegetación en los mismos.

Las barreras o empalizadas deben estar suficientemente enterradas en el fondo y en los flancos de la cárcava para evitar que se desmoronen. También es necesario que el vertedero colocado en la parte central de la estructura tenga una sección suficiente para satisfacer el volumen de descarga previsible. Como norma general, será necesario proteger la salida de la barrera para impedir que la obra sea destruida por el flujo de agua del vertedero. Es importante recordar que estas estructuras deben recibir mantenimiento y por tal razón se recomienda después de lluvias fuertes, realizar una inspección para verificar posibles daños y hacer reparaciones. Esta práctica es de especial importancia en la próxima fase, la instalación, cuando los materiales todavía no están consolidados.

3.3. Diseño de represas.

La construcción de una represa esta basada en datos de diseño, los cuales deben ser obtenidos en campo, laboratorio, con la información cartográfica disponible. Después de haber identificado el sitio con problemas de erosión, es necesario determinar parámetros que se utilizan en el diseño de las represas. La información a recabar es; longitud, la cual puede ser obtenida mediante el uso de una cinta métrica, en intervalos de cada 30 o 40 metros, se deberá medir el ancho y el tirante hidráulico (profundidad), además es indispensable calcular la pendiente que puede medirse en campo con nivel de caballete, nivel de manguera, nivel de mano, plancheta, nivel montado o tránsito; de igual forma puede ser determinada en gabinete sobre planos de curvas de nivel o fotografías aéreas (Colegio de Postgraduados, 2005). La textura del suelo se determina ya sea mediante el muestreo y posteriormente su análisis de laboratorio, cuando se tiene la experiencia en el campo se puede determinar en forma directa, por medio de un método llamado al tacto.

3.3.1. Espaciamiento de las presas.

El espaciamiento entre dos presas depende de la pendiente, sedimentos depositados, y de la altura efectiva de las mismas. Para calcular el espaciamiento, es necesario considerar aspectos técnicos y económicos estos son los siguientes:

Un criterio utilizado es el denominado cabeza pie, consiste en que la cota de la base de una represa, coincida con la cota del vertedor de la presa inmediata aguas abajo, la reducción del espaciamiento solamente se podrá disminuir cuando el riesgo de erosión sea mayor, y en teoría está basado en que el espaciamiento más eficiente se obtiene cuando una presa de control se construye en la parte donde termina el sedimento depositado por la presa siguiente que se encuentra aguas abajo (espaciamiento unitario).

El espaciamiento unitario que habrá de darse a las presas, se calcula en base a la siguiente ecuación

$$E = \frac{H}{P_c - P_s} * 100$$

Donde:

E: Distancia entre dos presas consecutivas (m)

H: Altura efectiva de la presa (m)

P_c: Pendiente de la cárcava (%)

P_s: Pendiente del sedimento (varia de 0.5 a 2 %)

Generalmente los sedimentos retenidos por las presas no se encuentran exactamente a nivel, sino que tienen un declive determinado, el cual varía de acuerdo con la clase de materiales sedimentados y la pendiente inicial de la cárcava. Por lo que es necesario hacer un ajuste de acuerdo a la textura. De acuerdo con la clase de sedimento, la

inclinación de éstos es del 2% para las arenas gruesas mezcladas con grava, 1% para sedimentos de texturas medias (francos) y 0.5% para sedimentos finos limosos o arcillosos.

Las presas que se construyan es necesario que cuenten con un vertedor en la parte central que permita el paso libremente del agua, sin embargo en represas de malla esto no es posible, debido que el material puede romperse, para permitir el paso de agua en este tipo de represas la construcción se hace de acuerdo con la configuración de la cárcava, para facilitar el paso cuando exista demasiada agua.

Para proteger el fondo de contra los efectos erosivos producidos por la caída de agua que pasa través del vertedor, en la zona inmediata aguas debajo de la represa es necesario el uso de revestimiento de piedras o de otro material con que se vaya a construir la presa, las ramas también son materiales que se pueden utilizar sobre todo aquellas que fueron removidas, por una acción de PEMEX.

La cimentación de la presa en el fondo de la plantilla aumenta la estabilidad, de la presa, lo cual es importante en aquellas casos donde el escurrimiento sea importante, el empotramiento en los taludes tiene como finalidad en impedir que el agua origine socavaciones en los flancos que puedan producir escurrimientos en los taludes, circunstancia que vuelve completamente ineficaz a la estructura. Por regla general la cimentación estará situada a una profundidad mayor que la superficie del "delantal", sobre todo en aquellas estructuras donde el agua al pasar por el vertedor origine una caída sobre su parte posterior y que tienda a socavar el fondo de la cárcava, cuando sea posible la cimentación puede ser reforzada con piedras para controlar la estabilidad de la plantilla. En los sitios donde se localizan en áreas agrícolas, y se pretende que una vez recuperados se incorporen a la producción agrícola, es necesario utilizar materiales que sean degradables y además no dañe al equipo agrícola como son los bordeadores, sembradoras, rastras, etc.

3.3.2. Altura de la presas.

La altura efectiva, no deberá exceder de dos metros, ya que con alturas mayores, la presión del agua aumenta y se propician filtraciones a través y por debajo de la estructura, lo que origina socavaciones que son difíciles de controlar y a menudo causan su destrucción.

Para realizar el diseño de las represas es importante considerar la microcuenca hidrográfica, ya que la formación de una cárcava está íntimamente ligada al patrón de drenaje superficial, depende de la configuración y a veces solo se trata de resolver el movimiento de azolves de un punto determinado, sin tomar en cuenta los factores de la parte superior de la microcuenca, como es nivel de deforestación, la infraestructura, el uso del suelo y las aportaciones laterales que puede tener la cárcava. Además de las condiciones físicas, los aspectos sociales son de gran importancia, pues los efectos de la tecnología en los diversos grupos sociales son distintos, por lo que al identificarlos por; género, pertenencia étnica, edad, nivel de educación o económico, permitirá centrarse en las personas dejando un espacio para la participación de los diversos grupos. Considerando lo anterior como un principio clave para el control de la erosión.

3.4. Tipos de represas para el control de azolve.

De acuerdo al tipo de material utilizado las represas se dividen en dos grupos, de carácter temporal, están construidas principalmente de materiales degradables en corto y mediano plazo, como son ramas, de malla y morillos. En las de tipo permanente son aquellas que son construidas de piedra, gaviones y mampostería.

3.4.1. Presas de malla de alambre.

Esta clase de estructura es efectiva para controlar las cárcavas de tamaño con profundidades promedio de un metro, para su construcción se emplea una malla ciclónica, o de tipo multimalla, éstas se fijan firmemente a una hilera de postes

clavados en el suelo, además deben estar enterradas en una zanja abierta previamente. Los mejores resultados se obtienen cuando parte de la malla, además de forrar dicha zanja, se traslapa sobre el lecho de la cárcava aguas arriba de la misma, por debajo del terraplén. Una vez formada la cerca de alambre se procede a rellenar la cimentación con el material que vaya a emplearse, como son las piedras, ramas, etc. Como en todos estos casos es necesario que transversalmente la parte central de la estructura quede más baja con relación a los extremos de la misma para poder contar con un vertedor de suficiente capacidad y puedan drenar los gastos máximos que conduzca la cárcava. También se pueden utilizar represas de malla flexible y ramas, los cuales anclados adecuadamente pueden servir como una barrera física que en el corto tiempo controlará la erosión hídrica, la ramas pueden ser obtenidas en drenes los cuales están altamente poblados de mezquite.

Rodríguez y Espinosa (2005), utilizaron represas de mallas y ramas en el control de escurrimiento para disminuir el proceso de la erosión en suelos del Distrito de Temporal Tecnificado 010 San Fernando, encontrando una eficiencia de dichas estructuras, donde la construcción se puede dar en cualquier época del año, siendo más eficiente si se establecen en los meses de julio y agosto, con lo cual favorece que en los meses de octubre y noviembre se establezcan con barreras vivas. De esta manera, se pueden tener alturas de suelo retenido de 20 a 40 cm., dependiendo de las lluvias que se presenten en la zona. Además se observó que al construir represas de malla y ramas, resisten a la presencia de lluvias por arriba de lo normal, como fue el caso del huracán Emily, el cual registró lluvias de 210 mm, en un período de tres días.

La Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales, por medio del programa federal de empleo temporal (PET), desde el año de 1998 ha realizado trabajos sobre el control de la erosión hídrica y eólica en comunidades del altiplano del estado así como en la región del municipio de San Fernando. Estos trabajos, consistieron en realizar plantaciones como cortinas rompevientos para el control de la erosión eólica en la zona de San Fernando y la construcción de presas filtrantes, construidas de piedra para el control de erosión hídrica, bordos a nivel, y revegetación en bordos esto en

comunidades de los municipios de Jaumave, Palmillas, Bustamante, Miquihuana y Tula. Una vez constituida la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) retoma estas actividades del programa de empleo temporal (PET) para realizar acciones de conservación y restauración de suelo en aquellas zonas requeridas (CONAFOR, 2003).

3.4.2. Presas de Piedra.

Este tipo de represa se considera de carácter permanente, se recomienda para cárcavas pequeñas y medianas, donde la piedra sea fácil de adquirir, estas se colocan transversalmente del flujo de la corriente. Este tipo de obra, se recomienda para cárcavas con pendientes moderadas donde la superficie del área de escurrimiento genere flujos de bajo volumen, ya que son estructuras pequeñas. Son de gran duración debido a la resistencia del propio material. Los mejores resultados se obtienen cuando se tienen piedras con formas planas, las cuales pueden ser acomodadas perfectamente unas sobre otras, dejando menos intersticios para el paso del agua. Se pueden construir entre 1.2 y 2 m de altura, en cuanto a su ancho deberán ubicarse de preferencia en sitios no mayores de 4 m (CONAFOR, 2004), las piedras deben estar acomodada de tal manera que el muro tenga un ancho de al menos de 30 cm., su construcción se inicia con la apertura de una zanja transversal a la cárcava, con una profundidad variable de acuerdo a la altura de la presa, esta zanja se rellena con piedras de regular tamaño para formar la cimentación de la estructura, el empotramiento debe prolongarse hasta los taludes de la cárcava para evitar que la estructura sea flanqueada por los escurrimientos.

Posteriormente se procede a colocar las piedras sobre la cimentación hasta lograr la altura elegida, la cual por no debe ser mayor a dos metros. En el caso de utilizar piedra bola (redondeada) es necesario colocarla en base a su ángulo de reposo, ya que es precisamente en esta forma en que la estabilidad de la estructura es óptima. Cuando se dispone de piedra plana, es posible un mejor acomodo de las piedras incluso formar muros rectos. En todos los casos, la parte central transversal de la estructura deberá

quedar más baja que los extremos de la misma para poder obtener la capacidad necesaria del vertedor y evitar que los escurrimientos vayan a erosionar los flancos.



Figura 4. Represas construidas, con distintos materiales: ramas con tela, postes con ramas piedra, y madera con malla.

3.4.3. Costales de arena.

Si algunos tipos de estructura resultan costosos por el tamaño y los materiales, la alternativa es la represa filtrante, construida con costales llenos con tierra, los cuales deben de ir acomodados de tal manera que generen una resistencia al flujo de agua. Son pequeñas estructuras, que se construyen a lo largo de cárcavas y arroyos transversales al flujo de la corriente. Tienen la finalidad de retener suelo y agua en la

rehabilitación de áreas erosionadas y son efectivas combinadas con prácticas parcelarias de coberteras verdes.

3.4.4. Presa de Gaviones.

Si la corriente es más fuerte y amenaza derribar un muro de piedra acomodada, conviene construir represas de gaviones con cimientos y empotramiento de mampostería para darle resistencia contra el embate de la corriente. Las presas de gaviones están armadas con una serie de cajones de malla de alambre galvanizado, rellenos de piedras y amarrados unos a otros, por lo que tienen gran resistencia para enfrentar corrientes turbulentas. Tales presas se diseñan con un vertedor central para conducir el exceso de agua en caso de desbordamiento, y así evitar que la corriente pueda horadar los extremos donde la presa se une al terreno. Si la caída de agua es fuerte, será necesario añadir un piso aguas abajo o un tanque amortiguador, que impida que la corriente excave la base de cimentación de la presa, lo cual podría derribarla. Las condiciones del terreno y la fuerza estimada de la corriente en cada punto determinan el diseño de la presa de gaviones, que puede ser de niveles escalonados para tener mayor resistencia o de cortina inclinada para reducir costos. En ambos casos puede optarse entre dejar que el exceso de agua siga corriendo por el cauce de la barranca o buscar que se desborde e inunde los terrenos adyacentes.

3.5. Mantenimiento de represas filtrantes.

Cuando se realizan las obras en el campo, tanto en las temporales como permanentes están sujetas a daños originados por diversos elementos; tales como; fenómenos meteorológicos, lluvias por arriba de 15 cm, huracanes; además el paso de vehículos, maquinaria, así como los daños provocado por ganado vacuno. Los problemas más comunes se relacionan con la caída de postes, el arrastre de ramas debido a la corriente, en algunos casos debido a las características físicas de los horizontes del suelo, existe una socavación en las partes laterales o por debajo de la malla o muro de piedra. Por lo que es necesario hacer revisiones continuas para resolver todas esas situaciones mediante la reposición de materiales o el reforzamiento de los taludes con

pedras y/o ramas. Para cárcavas más anchas que profundas, con poca pendiente en su lecho o cuya cuenca de captación no sea muy grande, se recomienda sembrar con gramíneas. En la cuenca de Burgos, la tendencia de las cárcavas es hacerse más anchas, debido a la presencia de horizontes endurecidos provocados por el paso de maquinaria y su formación edáfica como son los carbonatos de calcio, en este sentido hay que combinar las prácticas ya que es necesario fijar los taludes con árboles, o pastos inducidos.

Conclusión.

La construcción de represas para el control de azolves, es una acción que permite reducir la erosión hídrica, pero éstas deben ser diseñadas de acuerdo a las condiciones del lugar, como topografía, tipo y uso de suelos.

IV. BIBLIOGRAFÍA

- Anaya G. M., Martínez M. M. R., Trueba C. A., Figueroa S. B y Fernández M. O. 1981. Manual de Conservación del suelo y del agua. Colegio de Posgraduados. Chapingo, México.
- Botero R. y R. O. Russo. 2002. Utilización de árboles y arbustos fijadores de nitrógeno en sistemas sostenibles de producción animal en suelos ácidos tropicales.
- Colegio de Postgraduados 2005. Catálogo de Prácticas de Conservación de Suelo y Agua Memorias. Taller para el desarrollo de capacidades orientadas a la conservación y aprovechamiento de los activos productivos primarios (Suelo, Agua y Vegetación). Montecillos Estado de México.
- Escuela De Agricultura De La Región Tropical Húmeda. San José de Costa Rica
- FAO 1997. Manual de prácticas integradas de manejo y conservación de suelos. Dirección de Fomento de Tierras y Aguas; FAO, Instituto Internacional de Agricultura Tropical, Ibadan (Nigeria)
- CONAFOR, 2004. Protección restauración y conservación de suelos forestales. Manual de obras y practicas SEMARNAT. México, D.F.
- FAO, 1998. Manual de prácticas integradas de manejo y conservación de suelos. Roma Italia
- FAO, 1984. Metodología provisional para la evaluación y la representación cartográfica de la desertificación. Roma, Italia.
- Instituto Nacional de Estadística e Geografía e Informática. 1983. Síntesis Geográfica de Tamaulipas. México D.F
- Lal, R., 1982: Management of clay soils for erosion control. Tropical Agric., 59 (2), 133 - 138.
- Ortiz Solorio, M.L.M., M. Anaya Garduño y J. Estrada Berg Wolf. 1994. Evaluación, cartografía y políticas preventivas de la degradación de la tierra. Colegio de Postgraduados-CONAZA. México.
- Rodríguez, R. H. y Espinosa, R. M., 2005. Informe técnico final del proyecto Manejo de agua y preservación de suelos.
- Rodriguez, V. J. 1990. México y su agricultura. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.



CONABIO



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE TAMAULIPAS

COMISIÓN NACIONAL PARA EL
CONOCIMIENTO Y USO DE LA
BIODIVERSIDAD

“ANEXO TECNICO”

RECUPERACIÓN Y CONSERVACIÓN DE SUELOS
MEDIANTE PRESAS DE CONTROL DE AZOLVES, EN LA
CUENCA DE BURGOS
PROYECTO CJO68



Índice de Contenido

| Contenido | Página |
|---|--------|
| Índice de Contenido | i |
| Índice de cuadros | iii |
| Índice de figuras | iv |
| Resumen | v |
| I. INTRODUCCIÓN | 1 |
| 1.1. Objetivo general | 2 |
| 1.2. Objetivos específicos | 2 |
| 1.3. Metas | 3 |
| II ANTECEDENTES | 4 |
| 2.1. Localización. | 4 |
| 2.2. Características fisiográficas | 5 |
| 2.3. Climatología. | 5 |
| 2.3.1. Fenómenos meteorológicos extremos. | 6 |
| 2.4. Vegetación | 7 |
| 2.5. Suelos | 11 |
| 2.5.1 Suelos del sitio 1. | 12 |
| 2.5.2. Suelos del sitio 2. | 17 |
| 2.6. Información socio económica..... | 19 |
| 2.7. Afectaciones provocadas por las actividades de PEMEX | 20 |
| III. MATERIALES Y MÉTODOS | 24 |
| 3.1 Localización de la zona de estudio. | 24 |
| 3.2. Caracterización hidrológica de cárcavas. | 25 |
| 3.3. Diseño y construcción de las presas filtrantes | 26 |
| 3.3.1. Espaciamiento de presas. | 26 |
| 3.3.2. Aislamiento de la cárcava. | 27 |
| 3.3.3. Estabilización de la cárcava. | 27 |
| 3.3.4. Presas de malla de alambre y madera. | 28 |
| 3.3.5. Especificaciones generales de las presas de control de azolve..... | 28 |
| 3.4. Evaluación de impactos de las obras sobre la restauración de suelos..... | 29 |
| 3.4.1. Medición de volumen de suelo restaurado..... | 29 |
| 3.4.2. Análisis estadístico..... | 29 |
| 3.5. Reforestación..... | 30 |
| 3.6. Talleres teóricos prácticos a productores..... | 31 |
| IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 32 |
| 4.1.- Resultados de laboratorio de suelos de las áreas erosionadas..... | 32 |
| Textura..... | 32 |
| Potencial Hidrógeno (pH). | 32 |
| Conductividad eléctrica (C. E.). | 32 |
| Materia orgánica (M. O.). | 33 |
| Densidad aparente (D. A.). | 33 |
| 4.2. Medición y caracterización de las cárcavas..... | 34 |
| 4.3 Construcción de Represas | 40 |
| 4.4. Evaluación de las obras..... | 41 |
| 4.4.1. Resultados del muestreo..... | 41 |
| 4.4.2. Análisis de Varianza del muestreo de azolve..... | 46 |

| Contenido | Página |
|--|---------------|
| 4.4.2.1. Sitio de muestreo..... | 47 |
| 4.4.2.2. Uso del suelo..... | 50 |
| 4.4.2.3. Análisis de correlación..... | 58 |
| 4.5. Reforestación..... | 59 |
| 4.6 Talleres teóricos prácticos a productores..... | 60 |
| V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 62 |
| Conclusiones..... | 62 |
| Recomendaciones..... | 62 |
| BIBLIOGRAFÍA | 64 |
| Personal Técnico Participante..... | 66 |

I. INTRODUCCIÓN.

Con el propósito de atender la demanda creciente de gas en el noreste del país PEMEX está explorando la Cuenca de Burgos, la cual constituye la reserva de gas no asociado al petróleo más importante del país, con una superficie de 50 mil kilómetros cuadrados. Actualmente, la producción en esta zona cubre una superficie de 29 mil kilómetros cuadrados y se obtienen más de mil millones de pies cúbicos diarios. Esta producción representa el 80 por ciento del total de gas no asociado y casi una cuarta parte de la producción total de gas en México. La principal característica geológica de esta región es que está integrada por cientos de pequeños yacimientos de carácter marginal, aislados unos de otros y localizados a diversas profundidades, lo que trae como consecuencia la alteración del medio ambiente.

La parte central de la Cuenca, localizada en el municipio de Reynosa Tamaulipas y llamada por la CONABIO como Zona II, ha sido impactada debido a las actividades propias de esta industria, provocando daños severos a los suelos, la flora y fauna, por consiguiente el proceso de la erosión se ha incrementado substancialmente particularmente el del tipo hídrico, principalmente en aquellos sitios donde existen obras relacionadas con el gas, como son brechas, caminos de acceso, pozos, gasoductos, estaciones de recolección y bombeo, entre otros, estas obras han propiciado una remoción de la vegetación natural y de acuerdo a las características físico químicas de los suelos la formación de cárcavas se han desarrollado en forma potencial, aún más cuando se alcanzan precipitaciones superiores a 50 mm, por evento.

Además, las estaciones secas características de la región, las cuales son muy marcadas, producen degradación de dos maneras distintas: la concentración de lluvias y la agricultura intensiva en pocos meses del año, generan condiciones propicias para la erosión hídrica; el período seco, sin producción de biomasa vegetal, genera condiciones favorables para que ocurra sobrepastoreo y por lo tanto, se crean condiciones ideales para que se produzca la erosión eólica en algunas zonas.

La erosión del suelo, es una importante causa de degradación del medio ambiente y uno de los factores limitantes más críticos que enfrentan los productores, la pérdida de la capa fértil y arable del suelo debido al arrastre descomposición y lixiviación de materia orgánica y de los coloides minerales, trae consigo la disminución de la productividad de los suelos, afectando la economía de los núcleos familiares. En general, el control de cárcavas es difícil y costoso. La restauración de un área erosionada demanda tiempo, trabajo y capital, de ahí la necesidad de tener un plan bien elaborado en la restauración de suelos. El presente proyecto fue desarrollado bajo un esquema de un convenio de colaboración entre la Comisión Nacional Para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad y la Universidad Autónoma de Tamaulipas, enfocado a la restauración de suelos. De acuerdo a lo anterior los objetivos del presente trabajo fueron los siguientes.

1.1. Objetivo general:

Establecer medidas de restauración y conservación de suelos, que permitan controlar el proceso de la erosión en cárcavas, así como promover la participación de los productores para llevar a cabo dichas medidas.

1.2. Objetivos específicos:

- Construir presas de control de azolve, que permitan controlar el proceso de la erosión en cárcavas, causadas por las obras de exploración y producción de PEMEX
- Fomentar la participación de los productores en prácticas de restauración de suelos, mediante talleres y construcción de las presas de control de azolve.
- Establecer en los sitios restaurados un sistema de reforestación con una leguminosa nativa para mejorar el control de la erosión, y darle un uso sustentable a las áreas recuperadas.

1.3. Metas

- 1) Construir, 590 pequeñas presas para el control y restauración de cárcavas, con la participación de productores de la zona.
- 2) Desarrollar cinco cursos talleres, donde se explique en forma teórica y práctica la construcción de obras de restauración de suelos.
- 3) Realizar una reforestación en una longitud de 15 km a intervalos de 6 m, por ambos lados de la cárcava con 5,000 plantas de mezquite (*Prosopis glandulosa*)

II ANTECEDENTES

2.1. Localización.

El área de estudio está comprendida dentro la zona dos, que corresponde a la parte central de la Cuenca de Burgos, que se caracteriza por tener una gran actividad agropecuaria y estar afectada por las actividades de PEMEX, mediante una pérdida de suelos y de cobertura vegetal. Las localidades donde se realizaron las acciones fueron las comunidades ejidales Anacuas No. 2, Escuadrón 2001 No. 1, Aniceto López Salazar General Anacleto Guerrero, Francisco Villa, San Francisco y el Grullo, además en los ranchos particulares Santa Clara del Orégano y Buenos Aires todos del municipio de Reynosa Tams. De acuerdo al grado de afectación el área se dividió en dos, la primera localizada en la zona norte del área ahí se localiza la mayor afectación por las actividades y por las condiciones topográficas y uso del suelo.

Cuadro 2.1. Localización de los dos sitios de Trabajo

| Sitio 1 | | |
|---|---------------------|--------------------|
| Vértice | X (longitud) | Y (latitud) |
| 1 | 551077.5146 | 2852248.30 |
| 2 | 556976.6169 | 2848127.35 |
| 3 | 556974.9315 | 2842666.47 |
| 4 | 556383.3358 | 2840837.75 |
| 5 | 550458.9515 | 2840839.43 |
| 6 | 550381.4205 | 2848156.01 |
| Superficie sitio 1: 5783.821 ha <i>datum</i> utilizado: WGS84 | | |
| Sitio 2 | | |
| Vértice | X (longitud) | Y (latitud) |
| 1 | 553000.4582 | 2836927.65 |
| 2 | 551862.6188 | 2836895.60 |
| 3 | 549779.251 | 2836871.56 |
| 4 | 549578.9271 | 2836991.76 |
| 5 | 549835.3416 | 2838073.51 |
| 6 | 551982.8131 | 2838281.84 |
| 7 | 552992.4452 | 2838386.01 |
| 8 | 553000.4582 | 2839996.61 |
| 9 | 554995.6835 | 2840012.64 |

| | | |
|---|-------------|------------|
| 10 | 554987.6706 | 2839235.38 |
| Superficie sitio 2: 821.139 ha. <i>datum</i> utilizado: WGS84 | | |

El segundo sitio está localizado en la parte sur del polígono y comprende las comunidades de General Anacleto Guerrero y Francisco Villa, con una superficie total de 6,604.96 ha (Cuadro 2.1).

2.2. Características fisiográficas.

La zona norte de Tamaulipas comprende una de las tres provincias Fisiográficas del Estado, llamada Grandes Llanuras de Norteamérica. Se extiende de norte a sur, desde las provincias políticas canadienses de Alberta y Saskatchewan, hasta el norte de México, en los estados de Coahuila, Nuevo León y Tamaulipas. Atravesando el centro de Estados Unidos de América. Dentro del territorio de México integra la subprovincia de las Llanuras de Coahuila y Nuevo León, que limita la norte con el río Bravo, al oeste con la Sierra Madre Oriental y al sureste con la Llanura Costera del Golfo Norte. La zona está ubicada en la Provincia Fisiográfica Planicie Costera del Golfo, principalmente dentro de la Subprovincia Costa Baja. La región está caracterizada por presentar un relieve de pocos metros sobre el nivel del mar, excepto en su parte sur y oeste donde se destacan algunos lomeríos.

La geología dominante de la zona de estudio, son rocas sedimentarias del terciario, sensiblemente onduladas, con un relieve suave semejante a una penillanura. Las unidades litológicas la integran principalmente una secuencia de lutitas y areniscas, que están dispuestas en forma de franjas paralelas a la línea de la costa, las cuales forman un monoclinal que cruza al oriente, con un sistema de fallas normales con orientación norte-sur (Instituto Nacional de Estadística e Geografía e Informática. 1983).

2.3. Climatología.

El clima se encuentra regulado por factores físicos y de tipo estacional; entre los factores físicos se tiene su ubicación geográfica, y su colindancia con el Golfo de México. En los estacionales se tiene: la influencia de las tormentas tropicales y los frentes fríos. Los Nortes ocurren de noviembre a enero con intensidad del orden de 15

a 50 km/hra con dirección de norte a sur causando resequedad en el suelo cuando no viene acompañado por lluvias ligeras. La influencia de cada uno de estos factores y su interacción es determinante en la conformación y variabilidad del clima, así como para el desarrollo de las diversas actividades a realizar en la Cuenca de Burgos (Comisión Nacional del Agua, 1996)

En general, el 60%, de la superficie el clima es: BSI (h') W" (e). Seco estepario, el menos seco de los Bs, la temperatura media anual es mayor de 22° C y la del mes más frío menor de 18°C, régimen de lluvias en verano con una corta sequía intraestival y extremoso.

El 40%, de su superficie, es: BSO (h) hw" (e'). Seco estepario, el más seco de los Bs, la temperatura media anual es mayor de 22° C y la del mes más frío menor de 18° C, el régimen de lluvias en verano con una corta sequía intraestival y muy extremoso.

2.3.1. Fenómenos meteorológicos extremos.

Por las características climatológicas e hidrológicas los principales fenómenos meteorológicos que se presentan en la zona de estudio son los siguientes (Comisión Nacional del Agua, 1996)

Sequías. Es un fenómeno común que se presenta en la zona, en los meses de mayo, y junio, de forma más atenuante en julio y agosto en un periodo llamado localmente canícula.

Heladas. Se presentan durante la temporada invernal y derivan principalmente de la invasión de grandes masas de aire frío procedente de las regiones polares, cuya acción es continua y por varios días, son ejemplos las heladas ocurridas en diciembre y enero de 1983 y 1984 y las de diciembre y enero de 1989 y 1990.

Granizo. Durante los meses de abril a junio y en menor medida en octubre y noviembre, es común la presencia de granizo. Este fenómeno es motivado por el choque de masas de aire cálido y frío, así como por corrientes de aire ascendente, presentándose como tormentas con viento fuerte, alta intensidad de precipitación en áreas restringidas.

Ciclones Tropicales. Anualmente, y principalmente en los meses de septiembre y octubre, se tiene el riesgo de ser afectado por los ciclones tropicales que se entran por el Golfo de México y el mar Caribe, recibiendo abundantes precipitaciones que acompañan su paso, ya sea por su penetración directa al estado o indirectamente al penetrar por estados vecinos o tan solo por su paso frente a sus costas. Así en el mes de julio de 2005 se presentó el Huracán Emily, con velocidades de 200 km/hora, y con una lámina de precipitación de 250 mm, lo cual provocó algunos daños a las obras que se tenían construidas.

2.4. Vegetación

En los sitios de trabajo sobresale la presencia del Matorral Espinoso Tamaulipeco principalmente en las unidades de suelos Xerosol y Castañozem, aunque su proporción es muy variable, estando substituido en gran medida por áreas abiertas a la agricultura y ganadería bajo condiciones de temporal, especialmente en la unidad de suelos Vertisol. Este tipo de vegetación mantiene cerca de 60 especies de plantas y varias especies de vertebrados con diferente status de riesgo para su conservación (amenazadas, en peligro o vulnerables). También se presentan superficies cubiertas con mezquitales cuya altura es variable dependiendo sobre que tipo de unidad de suelos se localicen, sobresaliendo los que se desarrollan en los suelos Vertisoles que tienen alturas hasta de 6 m.

Matorral Espinoso Tamaulipeco. Comunidad vegetal arbustiva caracterizada por la dominancia de elementos espinosos, caducifolios una gran parte del año o afílos (sin hojas) algunos de ellos. Se desarrolla en una amplia zona de transición entre el matorral

desértico micrófilo, el matorral submontano el mezquital y la selva baja espinosa del Noreste de la republica. Actualmente se encuentra en diferentes condiciones de perturbación, que posiblemente es en gran parte de carácter secundario, algunas de las principales especies son *Prosopis glandulosa* (Mezquite), *Acacia rigidula* (Gavia), *Acacia farnesiana* (Huizache) *Cercidium macrum* (Retama).



Figura 2.1. Vegetación Matorral espinoso Tamaulipeco localizado en el Rancho Buenos Aires.

Estrato Arbóreo (Especies Maderables). En este tipo de vegetación se identificaron especies maderables que presentan características para determinar un volumen (Cuadro 2.2).

Cuadro 2.2. Especies del Matorral Espinoso Tamaulipeco.

| Nombre común | Nombre científico |
|--------------|--------------------------------|
| Mezquite | <i>Prosopis glandulosa</i> |
| Huizache | <i>Acacia farnesiana</i> |
| Gavia | <i>Acacia rigidula</i> |
| Cenizo | <i>Leucophyllum frutescens</i> |
| Chapote | <i>Diospyros palmeri</i> |
| Cuajillo | <i>Acacia berlandieri</i> |
| Retama | <i>Cercidium macrum</i> |

| | |
|-------|-----------------------------|
| Ebano | <i>Pithecellobium ebano</i> |
|-------|-----------------------------|

Estrato Arbustivo. En este estrato se identificaron varias especies las cuales se caracterizan por no tener, un tallo definido (cuadro 2.3).

Cuadro 2.3. Especies del estrato arbustivo.

| Nombre común | Nombre científico | Nombre común | Nombre científico |
|--------------|--------------------------------|--------------|---------------------------------|
| Mezquite | <i>Prosopis glandulosa</i> | Uña de gato | <i>Zanthoxylum fagara</i> |
| Nopal | <i>Opuntia engelmannii</i> | Coyotillo | <i>Karwinskia humboldtiana</i> |
| Huizache | <i>Acacia farnesiana</i> | Vara dulce | <i>Eysenhardtia polystachya</i> |
| Granjeno | <i>Celtis pallida</i> | Palillo | <i>Croton cortesianus</i> |
| Guayacán | <i>Guaiacum angustifolia</i> | Chapote | <i>Diospyros palmeri</i> |
| Tasajillo | <i>Opuntia leptocaulis</i> | Huajillo | <i>Acacia berlandieri</i> |
| Panadero | <i>Forestiera angustifolia</i> | Bisbirinda | <i>Castela erecta</i> |
| Pita | <i>Yucca treculeana</i> | Cruceto | <i>Randia obcordata</i> |
| Gavia | <i>Acacia rigidula</i> | Ceron | <i>Phyllostylon brasiliense</i> |
| Cenizo | <i>Leucophyllum frutescens</i> | Retama | <i>Cercidium macrum</i> |

En la cuenca de Burgos uno de los factores que ocasiona la erosión de suelos, es la deforestación provocada por las obras que está realizando PEMEX. Como fue demostrado en un trabajo realizado por técnicos de la Universidad Autónoma de Tamaulipas (Rodriguez *et al*, 2003), donde se cuantificó el volumen de madera removida, por las obras realizadas en los años 2001 y 2002, tomando como base los coeficientes en $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ obtenidos en los muestreos de campo, para cuatro clases del Inventario Forestal Nacional

Los resultados mostraron que se removieron 388 ha de cubierta forestal, con un volumen de 9117.21 m^3 de madera (Cuadro 2.4), sin cuantificar los caminos de acceso y brechas sísmicas, por lo que la superficie desforestada puede ser hasta diez veces más de la cantidad estimada. Por lo que se considera que lo anterior es un factor que provoca que la erosión del suelo se acelere y rompa el equilibrio del ecosistema.

Cuadro 2.4. Volumen de forestal removido por PEMEX

| Tipo de obra | Año | Volumen m³ |
|---------------------|------------|------------------------------|
| Pozos | 2001 | 3278.17 |
| Estaciones | 2001 | 72.55 |
| Líneas | 2001 | 1869.64 |
| Subtotal | | 5220.36 |
| Pozos | 2002 | 2452.41 |
| Estaciones | 2002 | 17.46 |
| Líneas | 2002 | 1426.98 |
| Subtotal | | 3896.85 |
| Total | | 9117.21 |

El mismo estudio mostró que la especie mas afectada en éste proceso, fue el mezquite (Cuadro 2.5), ya que en todas estimaciones realizadas constituyó el mayor volumen removido, así por ejemplo para las afectaciones por pozos significó el 65%, del total removido, algo similar sucedió en el caso de las estaciones de recolección y gasoductos, por lo cual es necesario considerar un análisis de sostenibilidad de ésta especie.

Cuadro 2.5. Estimación de volúmenes de afectación por pozo y tipo de vegetación ($m^3 ha^{-1}$).

| Tipos De Vegetación | Pozos (1) | Sup. Afectada ha. (1) | Volumen m^3ha^{-1} R.T.A | Volumen total removido $M^3 R. T. A.$ |
|---|------------------|------------------------------|--|---|
| Año 2001 | | | | |
| Matorral Espinoso Tamaulipeco | 35 | 35 | 17.46 | 611.10 |
| Matorral Espinoso Tamaulipeco con veg. Secundaria | 12 | 12 | 6.76 | 81.12 |
| Mezquital (incluye Huizachal) | 53 | 53 | 48.33 | 2561.49 |
| Mezquital (incluye Huizachal) con veg. Secundaria | 1 | 1 | 24.46 | 24.46 |
| Vegetación Halofila y Gipsofila | 4 | 4 | 0.00 | 0 |
| SUBTOTAL | 105 | 105 | | 3278.17 |
| Año 2002 | | | | |
| Matorral Espinoso Tamaulipeco | 61 | 61 | 17.46 | 1065.06 |
| Matorral Espinoso Tamaulipeco con veg. Secundaria | 37 | 37 | 6.76 | 250.12 |
| Mezquital (incluye Huizachal) | 21 | 21 | 48.33 | 1014.93 |
| Mezquital (incluye Huizachal) con veg. Secundaria | 5 | 5 | 24.46 | 122.30 |
| Vegetacion Halofila y Gipsofila | 18 | 18 | 0.00 | 0 |
| Subtotal | 142 | 142 | | 2452.41 |
| Total | 247 | | | 5730.58 |
| .1. Datos proporcionados por PEMEX. | | | | |

2.5. Suelos

De acuerdo con la clasificación de FAO/UNESCO los suelos de los dos sitios de trabajo están integrados por cuatro asociaciones de suelos de, (Instituto Nacional de Estadística e Geografía e Informática, 1983), en este caso se realizó en campo una verificación de dichas unidades dominantes, mediante de una descripción de sus principales características físicas y del paisaje, utilizándose para dicho fin una barrena de caja, tabla de colores munsell, agua oxigenada al 6% (H_2O_2) y ácido clorhídrico al 10% (HCl), para evaluar la reacción en cuanto al contenido de la materia orgánica y carbonatos de calcio respectivamente (Figura 2.2).



Figura 2.2. Material utilizado para la verificación de las características de los suelos, en los sitios de trabajo.

2.5.1 Suelos del sitio 1.

En el sitio uno las unidades de suelo dominantes son; Xerosol, Vertisol y Rendzina, las cuales se describen a continuación:

Xerosol. Se caracterizan por tener una capa superficial de tono claro y pobre en humus, debajo de la cual hay un subsuelo rico en arcillas, el régimen climático donde se forman los Xerosoles tienen una evaporación potencial que sobrepasa a la precipitación durante la mayor parte del año, infiltrándose poca agua en el suelo. Por lo común, las poblaciones microbianas son escasas. El contenido de materia orgánica en la superficie del suelo es bajo, (valores menores de 1 %), como resultado de ello, los suelos heredan gran parte de su morfología de los materiales originales, la falta de lixiviación deja a los perfiles con un contenido elevado de bases.

La característica más notable es la capa de acumulación de carbonatos o "caliche". En general, formado por bicarbonato de calcio que desciende por el perfil y que se precipita en carbonato de calcio, cuando se detiene el flujo de infiltración y se pierde por la evaporación del suelo. Existen capas no consolidadas de caliche, llamadas horizontes

cálcicos generalmente contienen más de 15 % de carbonato de calcio, se encuentran a profundidades crecientes al incrementarse las precipitaciones pluviales. Por otra parte, comúnmente se encuentran capas endurecidas o "petrocálcicas", las cuales tienen influencia en el desarrollo de las cárcavas haciéndolas más anchas.

La pendiente superficial varía de 1 a 3 %, con lomeríos suaves, sin pedregosidad superficial, la erosión se presenta en forma laminar y cárcavas, parte de el uso del suelo está orientado la agricultura y ganadería (sorgo y pastos inducidos), bajo condiciones de temporal. La vegetación natural esta constituida diversas áreas de matorral espinoso tamaulipeco. En el punto descrito (Figura 2.3), se identificaron las siguientes especies: *Prosopis glandulosa* (mezquite) *Acacia farnesiana* (huizache), *Opuntia engelmannii*, (nopal) *Yucca treculeana* (pita) *Opuntia leptocaulis* (tasajillo) *Leucophyllum frutescens*, (cenizo), *Celtis pallida*, (granjeno), *Acacia berlandieri*, (huajillo), y *Zanthoxylum fagara* (uña de gato).

El suelo presenta un horizonte superficial A₁ cuya profundidad es de 30 cm, de textura franco arcillosa, presenta abundantes raíces con diámetros que varían de 1 a 5 mm, sin pedregosidad (Figura 3), reacción ligera al HCl lo que denota una neutralización de los carbonatos de calcio, por la mineralización de la materia orgánica, en esta capa se mostró la reacción ligera al H₂O₂, (un contenido aproximado de 1% de materia orgánica).

Entre los 30 y 60 cm, hay poca presencia de raíces con un diámetro aproximado de 3 mm, la textura es media, con cierta presencia de arena, sin pedregosidad, con reacción moderada al HCl lo que indica la presencia de CaCO₃, la reacción del H₂O₂, es apenas perceptible por lo que los niveles de materia orgánica son muy bajos (< 1%), esta capa presenta compuestos sólidos de CaCO₃ de color blanco.

Después de los 60 cm, el suelo presenta características similares al horizonte C, ya que el color es café claro, tiene una textura arcillosa, sin presencia de raíces, no existiendo pedregosidad, con fuerte reacción al HCl, lo que significa un alto porcentaje de CaCO₃

(entre 15 y 20%), la reacción del H_2O_2 , es nula indicando la ausencia de materia orgánica, presenta manchas de color blanco y concreciones de igual color lo que indica su origen sedimentario



Figura 2.3. Unidad de suelos Xerosol.

Vertisol. Término que proviene del latín *vertere*, invertir; connotativo de movimiento de la superficie del suelo, presentan grietas anchas y profundas en la época de sequía, son muy duros, arcillosos y masivos, presentan colores negros y grises. Son suelos derivados de aluviones arcillosos, por lo que contienen porcentajes altos de arcillas en todo su perfil. La característica más común es una desecación estacional del suelo. Los patrones de precipitaciones pluviales que se asocian a los vertisoles se relacionan con una estación seca, cuya duración en la zona de estudio varía de dos a tres meses. Una característica común es una reacción básica (alcalina). Los materiales originales incluyen rocas sedimentarias calcáreas, y aluviones, los valores de pH de los perfiles van de 7.2 a 8.5; el contenido de materia orgánica es bajo (<1.5%), el contenido de carbonatos varía de 0.5 a 30 %.

De acuerdo con la descripción realizada, la pendiente promedio es de 1%, sin pedregosidad superficial, la erosión se presenta en forma laminar y pequeños canalillos.

Su uso actual está orientado principalmente a la agricultura (sorgo), bajo condiciones de temporal, existiendo pocas áreas con vegetación natural las especies más comunes son: *Prosopis glandulosa* (mezquite) mesquite, (altura máxima de 5 m), *Acacia farnesiana* (huizache) y *Helianthus annuus* L (polocote o girasol silvestre), que es una maleza del cultivo del sorgo.

El suelo tiene una profundidad mayor de un metro, presenta un horizonte Ap que se le considera como la capa arable cuya profundidad es de 15 cm, de textura arcillosa, presenta abundantes raíces de diámetro fino (por ser una área dedicada al cultivo), sin pedregosidad, reacción ligera al HCl lo que denota una neutralización de los carbonatos de calcio.

La profundidad del horizonte A₁, varía de 15 a 60 cm, el cual se encuentra compactado por el paso de la maquinaria, es de textura arcillosa, presenta escasas raíces, sin pedregosidad, con reacción fuerte al HCl lo que denota una alta cantidad de CaCO₃ (entre 15 y 20%), la reacción del H₂O₂, es ligera estimándose que tiene un porcentaje bajo de materia orgánica (menor 1%), se tiene la presencia de manchas blancas (sales de carbonato), concreciones menores de 2 mm de origen calizo.

La profundidad de 60 a 80 cm, presenta características del horizonte C, tiene una textura arcillosa, nula presencia de raíces, sin pedregosidad, con fuerte reacción al HCl lo que denota una alta cantidad de CaCO₃ (entre 15 y 20%), la reacción del H₂O₂, es nula lo que revela la ausencia de materia orgánica, presenta manchas de color blanco y concreciones de igual color lo que indica su origen sedimentario



Figura 2.4. Verificación de las propiedades de la unidad de suelos Vertisol.

Rendzinas. El nombre de ésta unidad de suelos, proviene del polaco rzedzic, connotativo del ruido que hace el arado cuando se labran suelos pedregosos superficiales, son poco profundos sobre piedra caliza, presentan una capa superficial rica en materia orgánica. Presentan un solo horizonte, (0–15 cm), con reacción ligera al H_2O_2 , lo que significa que tiene un moderado porcentaje de materia orgánica (2%), la textura al tacto es franco arcillosa, la estructura es granular (suelos con buena estructuración), con un elevado contenido de pedregosidad con diámetros que varían de 4 a 5 cm.

La pendiente varia de 5 a 15 %, (lomeríos), con afloramientos rocosos superficiales (lajas), la erosión se presenta en forma acelerada en cárcavas y en forma laminar, principalmente a un lado de los caminos y brechas construidas por PEMEX (Figura 2.5).



Figura 2.5. Suelos rendzina con pendientes mayores de 5%, y con afloramiento rocoso.

Su uso actual está limitado como agostadero o solamente son áreas con vegetación natural de tipo arbustiva, estos suelos se presentan distribuidos en la parte norte de la zona de estudio. Las principales especies son las siguientes: *Acacia farnesiana* (huizache), *Opuntia engelmannii*, (nopal) *Opuntia leptocaulis* (tasajillo), *Leucophyllum frutescens*, (cenizo) y *Celtis pallida*, (granjeno)

2.5.2. Suelos del sitio 2.

Comprende las comunidades de Francisco Villa y General Anacleto Guerrero. Las unidades de suelos son: Castañozem, Vertisol y Xerosol, éstos dos últimos ya fueron descritos en el apartado anterior.

Castañozem. Estos suelos presentan características de la textura es arcillosa, profundos (mayor de 2 m), presentan poca arena, de consistencia dura a media en seco y blanda en húmedo, con acumulación de carbonato de calcio en el subsuelo.

La pendiente varía entre el 1 y 5 %, son áreas con lomeríos, sin pedregosidad superficial, la erosión se presenta en forma laminar y cárcavas, su uso actual esta orientado a la agricultura de temporal y ganadería. En el área descrita (Figura 2.6) se observaron las siguientes especies: *Prosopis glandulosa* (mezquite), *Acacia farnesiana* (huizache), *Opuntia engelmannii*, (nopal) *Opuntia leptocaulis* (tasajillo), *Leucophyllum frutescens*, (cenizo), *Celtis pallida*, (granjeno), zacate buffel.



Figura 2.6. Suelos catañosem, de uso agrícola, con pendientes casi planas.

Estos suelos están altamente degradados por las obras de PEMEX, principalmente por apertura de brechas, instalación de tuberías que han modificado las condiciones naturales, presentándose cárcavas con longitudes que varían de 100 a 300 m de y profundidades de 0.8 a 1.0 m

El suelo presenta un horizonte superficial A₁, la porprofundidad es de 27 cm, de textura arcillosa, la estructura es bloques subangulares, presenta abundantes raíces con diámetros que varían de 1 a 3 mm, sin pedregosidad, reacción fuerte al HCl lo que manifiesta una alta cantidad de carbonatos de calcio, con una reacción ligera al H₂O₂, (un contenido aproximado de 1% de materia orgánica).

Entre los 27 y 54 cm, se presenta el horizonte B, tiene poca presencia de raíces con un diámetros aproximados de 2 mm, la textura es arcillosa, con una estructura de bloques angulares, sin pedregosidad, con fuerte reacción al HCl, la reacción del H₂O₂, es apenas perceptible por lo que el nivel de materia orgánica es bajos (< 1%), esta capa presenta compuestos sólidos de CaCO₃ de color blanco y con manchas del mismo color.

Después de los 54 cm, se presenta un horizonte C, endurecido, de color gris claro, tiene una textura arcillosa, sin presencia de raíces, no existiendo pedregosidad, con una reacción fuerte al HCl, lo que significa un alto porcentaje de CaCO₃ (entre 15 y 20%), la reacción del H₂O₂, es nula lo que indica la ausencia de materia orgánica, presenta manchas de color blanco y concreciones de igual color lo que revela su origen sedimentario

2.6. Información socio económica

De acuerdo con el XII Censo General de Población y Vivienda, (Instituto Nacional de Estadística e Geografía e Informática, 2001), en la zona de estudio existían, 382 personas de las cuales 203 eran hombres y 179 mujeres. La población económicamente activa, eran 101 personas que equivale al 26.4% del total la población, la mayor parte de ellos se dedicaron al sector secundario, como empleados de compañías que fueron contratadas por empresas que trabajan para PEMEX, en la construcción de caminos, o como obreros en la extracción del gas, las personas dedicadas al sector primario se relacionaron en actividades de agricultura bajo condiciones de temporal, siendo el cultivo del sorgo es más importante, también parte de ellos estuvieron dedicados a la ganadería principalmente en condiciones de agostadero y en la actividad terciaria las personas estuvieron orientadas principalmente al comercio por medio de pequeñas tiendas de abarrotes (Cuadro 2.6).

Cuadro 2.6. Personas ocupadas de acuerdo a sector económico

| Sector | Número de personas | % |
|---------------|---------------------------|------------|
| Primario | 35 | 34.7 |
| Secundario | 51 | 50.5 |
| Terciario | 15 | 14.8 |
| Total | 101 | 100 |

Los servicios básicos de electricidad y agua potable son limitados ya aún que existe una red eléctrica, la mayoría de las comunidades no están conectadas, donde solamente algunos particulares tienen acceso al fluido eléctrico. En cuanto al agua en todas las comunidades existen bordos construidos de tierra para la captación, en algunos sitios existen pozos de que se utilizan para extraer el agua mediante un dispositivo hidráulico llamado papalotes, como es el caso en algunos lotes del ejido Anacuas, Anacleto Guerrero, en Buenos Aires y Santa Clara del Orégano. En la comunidad de Alfredo V. Bonfil existe un pozo que fue gestionado por PEMEX, donde en tiempo de escasez se utiliza como fuente de agua por todas las comunidades en cuestión y que es utilizada para el ganado.

En la actualidad se tiene un problema de migración en la mayor parte de las comunidades ya que a pesar de la información oficial, el número de habitantes ha disminuido drásticamente en algunas comunidades, como es el caso de los Ejidos Anacuas No. 2, Escuadrón 2001 No. 1, y Aniceto López Salazar donde la mayor parte de los habitantes viven en la Cd de Reynosa, Río Bravo, Valle Hermoso o bien en los Estados Unidos de Norte América, ya que en esas comunidades no cuentan con servicios básicos como es la electricidad y el agua potable.

2.7. Afectaciones provocadas por las actividades de PEMEX

En los dos sitios de trabajo están afectados en forma directa, por las obras realizadas por PEMEX, siendo éstas las siguientes: pozos, caminos, brechas sísmicas, estaciones de recolección de bombeo y gasoductos.

Caminos. Las compañías contratadas por PEMEX, han construido una serie de caminos de acceso, donde la mayor parte de éstos están revestidos por caliche y grava, lo que propicia que en épocas de lluvia el flujo superficial tenga una mayor velocidad y se dirija hacia los terrenos adyacentes, siendo las más afectadas aquellas áreas dedicadas a la agricultura (Figura 2.7)



Figura 2.7. Efecto de la construcción de caminos de acceso en la formación de cárcavas, en el rancho Santa Clara del Orégano

Gasoductos. La mayor parte de ellos van enterrados bajo el suelo, el problema que ocasionan es debido a que al momento de hacer la zanja, colocar el tubo y tapanla con tierra, alteran el nivel de agregación del suelo, y cuando se presentan lluvias con cierta intensidad y se combina con la pendiente se propicia la remoción del suelo, para dar lugar a la formación de cárcavas o canales que con el tiempo se hacen más grandes.

Pozos y estaciones de bombeo. Por norma se desmonta una superficie que varía de una a dos hectáreas, se realizan excavaciones y posteriormente se construye una plantilla de caliche la cual es apisonada, además tiene un nivel topográfico superior con respecto a los terrenos adyacentes, lo que propicia que en épocas de lluvias el agua tienda más a escurrir que infiltrarse, por lo que en primera instancia se forman canalillos y posteriormente cárcavas que a través del tiempo se van haciendo más grandes,

invadiendo terrenos dedicados a la producción agropecuaria o con vegetación natural (Figura 2.8).



Figura 2.8. Efecto de los pozos de extracción sobre la erosión hídrica en el área de pastizales, en Anacuas No. 2.

Brechas sísmicas. Aunque no existen grandes movimientos de suelos y solo se remueve la vegetación natural, en este caso el problema radica cuando éstas son construidas en dirección a la pendiente, principalmente en zonas con lomeríos lo que propicia la formación de canalillos y cárcavas.

De acuerdo con FAO (1984), la erosión del suelo es causada por factores naturales (climáticos y topográficos) y humanos. Cuando predominan éstos últimos, se dice que la erosión es inducida o acelerada, y se da a través del uso y manejo de la tierra por el hombre, fundamentalmente por sus efectos en la cubierta vegetal. La influencia del hombre sobre la erosión es compleja, no muy entendible ni cuantificable; sin embargo se han determinado algunos factores socioeconómicos que influyen en la erosión: la presión demográfica, tenencia de la tierra, falta de información técnica, dificultad para admitir innovaciones y mal ingreso de las actividades primarias. Parte de lo anterior sucede en la Cuenca de Burgos, donde las medidas de conservación son prácticamente nulas, además son áreas de temporal donde los suelos tienen problemas de fertilidad.

Por otro lado, el conjunto de prácticas utilizadas para combatir la erosión constituyen la restauración y conservación de suelos. Para diseñar una buena estrategia es necesario conocer ambos tipos de factores; los agentes físicos de la erosión y los requerimientos socioeconómicos de los usuarios de la tierra.

Una cárcava es producida por la socavación repetida sobre el terreno debida al flujo incontrolado de los escurrimientos superficiales. La presencia de cárcavas en un terreno indica un grado avanzado de erosión, ya que por lo general éstas se inician después de que una gran parte del suelo superficial ha sido arrastrado a causa de una fuerte erosión laminar. Al iniciarse el proceso de la formación de cárcavas, se presenta el estado de zanjeado incipiente, o sea aquel en el que cárcava empieza a notarse sobre el terreno, debido que el agua que escurre tiende a concentrarse para formar pequeñas corrientes o canalillos que poco a poco convergen entre sí, para a dar origen a otros de mayor anchura y profundidad (Anaya *et al*, 1982)

El punto crítico que da origen a una cárcava, se caracteriza por una concentración del escurrimiento superficial debido a causas diversas, dentro de las principales se tienen las siguientes:

1. Lluvias fuertes que caen sobre suelos desprovistos cubierta vegetal.
2. Concentración de las aguas de lluvia en depresiones naturales.
3. Falta de protección en los caminos y veredas.
4. Ruptura de una terraza ocasionada por un alto volumen de agua.
5. Desbordamiento o ruptura de un canal.
6. Cambio brusco de una cubierta vegetal, o de uso de la tierra.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Localización de la zona de estudio.

La zona de estudio se localiza en la región noreste del Estado de Tamaulipas, dentro del municipio de Reynosa, colindando al norte con la cabecera municipal de Reynosa, al sur con el municipio de Méndez, al este con el municipio de Río Bravo y al oeste con el Estado de Nuevo León. (Figura 3.1).



Figura 3.1 Localización del sitio de estudio

3.2. Caracterización hidrológica de cárcavas.

La selección de los puntos de trabajo se hizo con base a recorridos de campo, uso de cartas topográficas y de la colaboración de algunos productores donde señalaron áreas con problemas de erosión de suelos.

Después de seleccionar los sitios de trabajo se identificaron las principales características de las cárcavas como son: longitud, ancho, profundidad y pendiente. Lo que permitió estimar la capacidad volumétrica, por medio de la ecuación de Manning, la cual está basada en la rugosidad de las paredes y la plantilla, esta se expresa de la siguiente manera:

$$V = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}}$$

Donde:

V: velocidad media del flujo, m/s.

R: radio hidráulico de la sección, m.

S: pendiente de la línea de energía, m/m.

n: coeficiente de rugosidad de Manning.

La capacidad volumétrica expresada en m³ /s (Q), es:

$$Q = \frac{A}{n} * R^{2/3} * S^{1/2}$$

Donde: A, es el área de la sección por donde pasa el flujo, expresada en m².

Para estimar el área de la sección transversal se midió el ancho de la sección de la cárcava con un nivel fijo y cinta métrica, posteriormente se midió la profundidad, a lo largo de la sección. El volumen por unidad de tiempo total que pasa por la sección se obtiene como la suma de los caudales parciales.

Para determinar las principales características físico químicas se tomó una muestra representativa de las cárcavas de tipo compuesta para su caracterización física química, lo que permitirá establecer su calidad, las muestras fueron secadas al aire

libre, tamizadas a través de una malla de tres milímetros y homogeneizadas para su análisis en el laboratorio. Las determinaciones básicas que se hicieron fueron las siguientes:

- Porcentaje de partículas (Textura), por el método de Bouyoucus.
- Densidad aparente. Se obtendrá a través del método de la parafina
- Reacción del suelo (pH). Por medio de pasta de suelo saturada con un potenciómetro Corning.
- Contenido de sales (C.E). Se determinarán en el extracto de saturación mediante el puente de conductividad.
- Materia orgánica.

3.3. Diseño y construcción de las presas filtrantes

3.3.1. Espaciamiento de presas.

El espaciamiento entre dos presas consecutivas dependió, de los sedimentos depositados, de la altura efectiva de las mismas. La construcción de las presas fue en base a la consideración denominada “cabeza pie”. Esto es, que la cota de la base de una presa, coincida con la cota del vertedor de la presa inmediata aguas abajo. El espaciamiento unitario, se calculó en base a la siguiente ecuación:

$$E = \frac{H}{P_c - P_s} * 100$$

Donde:

E: Distancia entre dos presas consecutivas (m)

H: Altura efectiva de la presa (m)

P_c: Pendiente de la cárcava (%)

P_s: Pendiente del sedimento (varia de 0.5 a 2 %)

Generalmente, los sedimentos retenidos por las presas no se encuentran exactamente a nivel, si no que tienen un declive determinado, el cual varía de acuerdo con la clase de materiales sedimentados y la pendiente inicial de la cárcava. Por lo que es necesario hacer un ajuste de acuerdo a la textura. De acuerdo con la clase de sedimento, la inclinación de estos es del 2% para las arenas gruesas mezcladas con grava, 1% para sedimentos de texturas medias (francos) y 0.5% para sedimentos finos limosos o arcillosos. En algunas cárcavas como fue el caso de las cárcavas 1, 28, 64, entre otras, hubo necesidad de construir represas intermedia a distancias menores de las estimadas ya que como son suelos sumamente degradados, sin cobertura vegetal existen aportaciones laterales, por lo que fácilmente algunas represas llegaron a su capacidad máxima.

3.3.2. Aislamiento de la cárcava.

El propósito de esta acción fue detener el proceso que provoca el aumento de la cárcava; es decir, que el agua continúe erosionando la plantilla y desestabilice los taludes. Para llevar a cabo el aislamiento, se realizó el siguiente procedimiento: se usó una estructura de madera, tela y ramas el control de la cabeza de la cárcava primeramente se suavizó la cabeza de la cárcava, proporcionándole taludes convenientes cuya pendiente varió de 30 a 40 grados.

3.3.3. Estabilización de la cárcava.

Se utilizaron estructuras de mallas con postes de madera (material resultante de la remoción forestal realizada por las obras de PEMEX), las cuales fueron colocadas a lo largo del lecho de la cárcava, distribuidas en posiciones que dependieron de la topografía, de manera que protegieran, los puntos críticos y facilitaran el crecimiento de vegetación nativa en los mismos, en otros casos además de las ramas, se usó nopal (*Opuntia engelmannii*), en las comunidades de Francisco Villa, Javier Rojo Gómez, Anacuas No. 2 Aniceto López Salazar y Santa Clara del Orégano. Es un material vegetativo que abunda en la región y que dio buenos resultados ya que se utilizó como

material vivo, lo que permite su permanencia y su aumento en densidad, en el caso de algunos lugares como en Ejido Escuadrón 201, No 1, se utilizaron pacas de pasto buffel (*Cenchrus ciliaris* L.).

3.3.4. Presas de malla de alambre y madera.

Esta clase de estructura son efectivas para controlar las cárcavas de tamaño mediano, para su construcción se emplea malla ciclónica la cual se fija firmemente a una hilera de postes de madera (4 pulgadas * 4 pulgadas), enterrados dentro del suelo. Esta malla debe ser bien sujeta a una zanja abierta previamente. Los mejores resultados se obtienen cuando parte de la malla, además de forrar dicha zanja, se traslapa sobre el lecho de la cárcava aguas arriba de la misma, por debajo del terraplén. Una vez formada la cerca de alambre se procede a rellenar la cimentación con el material que vaya a emplearse, como son: las piedras, ramas, etc. Como en todos estos casos es necesario que transversalmente la parte central de la estructura quede más baja con relación a los extremos de la misma para poder contar con un vertedor de suficiente capacidad, y que éstos puedan drenar los gastos máximos que conduzca la cárcava.

3.3.5. Especificaciones generales de las presas de control de azolve.

El empotramiento. La cimentación de la presa en el fondo de la plantilla aumenta considerablemente la estabilidad de las presas, lo cual es importante en aquellos casos donde el escurrimiento sea alto, el empotramiento en los taludes tuvo como finalidad impedir que el agua origine excavaciones en los flancos y que pudieran producir brechas en los taludes, circunstancia que vuelve completamente ineficaz a la estructura. La cimentación estuvo situada a una profundidad mayor que la superficie del “delantal”, sobre todo en aquellas estructuras donde el agua al pasar por el vertedor origine una caída sobre su parte posterior y que tienda a socavar (excavar) el fondo de la cárcava.

Para formar el empotramiento, tanto en el fondo como en los taludes de la cárcava, se hizo una zanja perpendicular a su dirección en el lugar donde se levantó la estructura,

esta zanja se extendió lo suficiente hacia los taludes para asegurar los anclajes, sus dimensiones fueron de 0.50 m de ancho por 0.50 m de profundidad. El relleno de la zanja que sirvió para la cimentación se hizo de tierra. Para la identificación de las presas construidas se apego a la propuesta planteada por la CONABIO, estableciendo una nomenclatura para cada represa, así por ejemplo 1-O-C28-P4-18/03/05, significa:

1: sitio

O: nombre de la comunidad (Santa Clara del Orégano)

C: número de la cárcava

P: número de la presa

18/03/06: fecha en que fue levantada la información

3.4. Evaluación de impactos de las obras sobre la restauración de suelos.

3.4.1. Medición de volumen de suelo restaurado.

Después de haber construido las represas, se procedió con la evaluación de la cantidad de suelo retenido, ya que esto indica el impacto de las acciones realizadas en la zona de estudio. Para estimar el nivel de restauración, se procedió hacer un muestreo en la medición en cuanto a la restauración de suelos, el procedimiento consistió en hacer mediciones en las siguientes dimensiones: la altura, longitud y ancho de suelo restaurado, lo que permitió estimar el volumen de suelo restaurado, y con el valor de la densidad aparente se calculó la masa de suelo retenida, para la estimación de la zona de estudio, se seleccionaron 61 presas representativas, que equivale al 10% del total de las obras. La medición se llevó a cabo de acuerdo con la presencia de lluvias, de tal manera que se realizaron cinco muestreos, de los cuales para el análisis se utilizaron tres de ellos, que fueron los más representativos.

3.4.2. Análisis estadístico.

Después de obtener los resultados de campo, se procedió a realizar el análisis de varianza correspondiente de las variables de respuesta: volumen, superficie y masa de suelo retenido así como la prueba de comparación de medias (Tukey) cuando fue

necesario. El análisis se realizó para las tres fechas de muestro y en forma conjunta. Para lo anterior se usó el paquete estadístico Statistical Analysis System (SAS). Con los valores más sobresalientes de las variables se procedió a realizar gráficos con la hoja electrónica Excel.

3.5. Reforestación.

A partir del mes de septiembre del 2006 se procedió a reforestar las cárcavas que ya tenían un cierto nivel de azolve, principalmente en aquellas comunidades donde el uso del suelo no es agrícola. En este caso se utilizó una leguminosa que está adaptada a las condiciones edáficas y climatológicas de la zona de estudio, como es el mezquite (*Prosopis glandulosa*).

Obtención del material vegetativo. La planta fue obtenida a través de la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), del vivero de Río Bravo Tams. La cual fue obtenida mediante una solicitud a la Delegación en Cd. Victoria Tams.

Forma de plantación. Para la reforestación se utilizó un tipo de planta, con una longitud entre 15 y 40 cm ya que con estas dimensiones cuentan con mayor capacidad de adaptabilidad y resistencia al estrés de plantación. El establecimiento de las plantas se hizo en una longitud de 15 km a cada 6 metros, por ambos lados de la cárcava dando una cantidad de 5000 plantas.

El sistema para la plantación fue el de cepa común que consistió en abrir un hoyo de 40 cm de profundidad por 20 de diámetro y retirar la bolsa que cubre el cepellón de la planta introduciendo ésta a la cepa, al introducir la planta a la cepa se puso primeramente los 20 cm, tierra de la superficie que se excavó y después la de la parte inferior, esto con la finalidad que las raíces principales tengan contacto con el suelo fértil.

Época de plantación. De acuerdo a las condiciones climatológicas de la zona del proyecto la plantación se realizó en el mes de septiembre en el 2005 y septiembre y octubre en el año 2006, ya que es cuando se presentaron las lluvias con mayor regularidad. Sin embargo hubo necesidad de dar un riego de auxilio, mediante el acarreo de agua en una cisterna.

3.6. Talleres teóricos prácticos a productores.

Con el propósito que los mismos productores tengan las herramientas técnicas para que participen en el proyecto y en un futuro ellos sean los responsables de la conservación y rehabilitación de suelos en la zona, se impartieron cuatro cursos en las siguientes comunidades Escuadrón 201, No1, Francisco Villa, y Anacuas No. 2. El curso consistió en mostrar las técnicas de conservación de suelos, como es la medición, materiales, costos, tipos de presas, diseño trazo y construcción de presas. Además de la teoría se hizo una demostración práctica en la construcción de una presa.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1.- Resultados de laboratorio de suelos de las áreas erosionadas

Se analizaron un total de 70 muestras de suelo situándolas en la mayor parte de las cárcavas estudiadas. A continuación se discuten los resultados de las determinaciones físico/químico (en el anexo técnico se muestran los resultados de cada uno de los análisis), los suelos en general presentan problemas de fertilidad, el nivel de estructuración es baja debido a que han estado sujetos a un uso intensivo, (Figura 4.1), sin que se tengan prácticas de mejoramiento en su calidad, y además las presiones en la deforestación por las obras relacionadas con la extracción de gas, el riesgo de erosión se incrementa de manera drástica.

Textura. En los datos obtenidos del análisis de textura, indican que predominan los suelos con contenidos altos de partículas de arena, como son las texturas, migajón arcillo arenoso y migajón arenoso, solo la unidad de suelos Vertisoles mostraron textura arcillosa y correspondieron a las muestras del Ejido Francisco Villa, Ejido Anácuas No. 2 y Santa Calara del Orégano. Como las muestras provienen de suelos dentro de las cárcavas, se considera que corresponden a las partículas más pesadas y que fueron las que se opusieron el transporte por parte del agua, por lo tanto las partículas finas como son las arcillas y limos fueron depositadas en otros sitios.

Potencial Hidrógeno (pH). Los análisis del potencial de hidrógeno reportaron valores que van desde 7.9 a 8.3 clasificados como medianamente alcalinos, las muestras 6, 11 y 28 reportaron pH fuertemente alcalino, por lo cual algunos nutrientes del suelo se encuentran en forma limitada, como es el caso del Fósforo y algunos micronutrientes.

Conductividad eléctrica (C. E.). Los valores de conductividad eléctrica encontrados son bajos (0.31 a 1.71 mmhos/cm) clasificándolos como suelos sin problemas de sales, excepto de una muestra que mostró C.E. de 3.79 mmhos/cm, que indica salinidad moderada. Lo anterior es debido a que los puntos de muestreo, son superficiales, y no

habiendo sitios con acumulación excesiva de agua, la cual es una condición que manifiesta salinidad.

Materia orgánica (M. O.). El análisis de materia orgánica también reportó valores bajos, ubicados entre 0.13 y 1.47 %, sólo seis muestras se encuentran en el nivel medio. De acuerdo al porcentaje de materia orgánica a estos suelos se les considera de baja fertilidad, manifestándose en los bajos niveles de producción de sorgo, la cual varía de 1 a 2 t/ha. El nivel bajo es como consecuencia de la remoción de la parte superior del suelo por la erosión, eólica o hídrica. Una de las consecuencias de la degradación de suelos se manifiesta en los bajos niveles de materia orgánica, debido que este material se encuentra localizado en la capa superior del suelo, por lo que cuando las condiciones son adversas es de los primeros materiales que son removidos y transportados dentro del suelo.

Densidad aparente (D. A.). La densidad aparente encontrada varió de 1.2 a 1.8 gr/cm³, predominando valores altos, lo que refleja la alta proporción de partículas gruesas como es el caso de la arena, que es el material que normalmente se acumula en la parte superior de las cárcavas.



Figura 4.1. Suelos delgados del Ejido Anacuas No. 2 que son desmontados, para las obras de PEMEX o incorporarlos a un uso agropecuario

4.2. Medición y caracterización de las cárcavas.

Con base a los recorridos de campo, con ayuda de las cartas topográficas, así como, la participación de los productores, quienes señalaron sitios con problemas de erosión de suelos, se identificaron las zonas de trabajo, las cuales se pudieron clasificar de acuerdo al grado de deterioro de los suelos, desde pequeños canalillos hasta cárcavas. Se identificaron 132 cárcavas de las cuales se trabajaron en 83, debido a que en algunas de ellas requieren obras hidráulicas construidas con materiales más resistentes como mampostería y concreto, como fue en el caso del Ejido San Francisco donde las obras realizadas fueron destruidas por el Huracán Emily debido que la cárcava se ensanchó hasta 10 metros y en el caso del Ejido Anacuas No. 2, donde se introdujo maquinaria para desmonte y modificó los sitios localizados.

En el Cuadro 4.1 se muestra la distribución de las cárcavas por comunidad y los valores promedio de sus características físicas. Por otra parte en el ejido Anacuas No. 2 se identificaron 28 pasos de agua, en Escuadrón 201 se localizó 1 y en la pequeña

propiedad Buenos Aires, 12, los cuales aún no se desarrollan como cárcavas, pero ya tienen problemas de erosión hídrica, por lo cual las obras construidas tendrán una influencia positiva en el control de la erosión en esos sitios. Las longitudes más largas se presentaron en los sitios donde la actividad de exploración y explotación de gas se da en mayor medida, así como con la interacción de la agricultura y zonas de pastos, es importante señalar que ésta última actividad es reciente ya que en la actualidad por parte del Gobierno del Estado de Tamaulipas se tiene un programa de cambio de uso de suelo, como es el caso de Anacuas No. 2 y Javier Rojo Gomez.

Cuadro 4.1. Distribución de cárcavas y sus características físicas por comunidad.

| Localidad | Tenencia de la tierra | Número de cárcavas | Ancho Promedio (m) | Profundidad promedio (m) | Longitud promedio (m) | Pendiente promedio (%) |
|--------------------------------|-----------------------|--------------------|--------------------|--------------------------|-----------------------|------------------------|
| Sitio 1 | | | | | | |
| Anacuas No 2 | Ejidal | 39 | 2.10 | 0.42 | 242.41 | 1.40 |
| Aniceto López Salazar | Ejidal | 1 | 2.90 | 0.50 | 60.00 | 1.60 |
| Buenos Aires | Pequeña propiedad | 2 | 1.25 | 0.34 | 335.00 | 1.55 |
| Escuadrón Doscientos uno No. 1 | Ejidal | 6 | 2.30 | 0.27 | 431.33 | 1.50 |
| Javier Rojo Gómez | Ejidal | 8 | 2.33 | 0.33 | 306.25 | 1.33 |
| Orégano. | Pequeña propiedad | 19 | 1.80 | 0.38 | 191.63 | 1.50 |
| Grullo | Ejidal | 3 | 2.63 | 0.38 | 121.67 | 1.23 |
| Subtotal | | 78 | | | | |
| Sitio 2 | | | | | | |
| General Anacleto Guerrero | Ejidal | 2 | 1.73 | 0.43 | 100.00 | 1.50 |
| Francisco Villa | Ejidal | 3 | 2.61 | 0.40 | 270.33 | 1.23 |
| Subtotal | | 5 | | | | |
| Total | | 83 | | | | |

Una vez identificadas las zonas erosionadas, se procedió a realizar la medición de las mismas consistiendo en el levantamiento de las coordenadas geográficas por medio del

GPS del punto inicial y final, continuando con determinar la pendiente de la sección, la longitud, ancho y profundidad de la cárcava. Con las variables obtenidas en el campo, se definió la capacidad volumétrica y el espaciamiento entre presas, de acuerdo con lo planteado en la metodología en los cuadros del anexo dos, se muestra el resultado de la medición en los sitios de trabajo. El nivel fijo se utilizó para determinar la pendiente media de la cárcava, para lo cual tomaron las alturas de punto inicial y del final, con la diferencia de altura y la longitud se estimó la pendiente.

Con las variables obtenidas en el campo se definió la capacidad volumétrica y el espaciamiento entre presas, con base a lo planteado en la metodología. La variación en la longitud de las cárcavas fue desde 30 m hasta los 872 m, de acuerdo al Cuadro 4.2, las longitudes dominantes fueron de 51 - 100 m, después las longitudes de 101-150 m y en tercer término las de 251-300, m, la distribución estuvo relacionada con la pendiente siendo que a mayor pendiente mayor presencia y longitud, los caminos de acceso fue una condición importante en la distribución encontrándose la mayor proporción de cárcavas en la parte adyacente de los caminos existentes, y/o construidos por PEMEX, aún dentro de las propiedades privadas, cuando hubo una remoción de vegetación se propicio el desarrollo de este tipo de erosión, como se observó en el rancho Santa Clara del Orégano. Es importante señalar la función de conservación que hace la vegetación natural ya que en esta propiedad existe un tipo de erosión hídrica que es denominada de montículos, donde se observó que donde existe vegetación hay cierta cantidad de suelo retenido, por lo cual la reforestación y regeneración de vegetación es un proceso importante para controlar la erosión hídrica.

Cuadro 4.2. Variación de la longitud de las cárcavas medidas

| Intervalo de longitud de cárcava (m) | Número de cárcavas | Porcentaje |
|--------------------------------------|--------------------|---------------|
| 30-50 | 4 | 4.82 |
| 51-100 | 17 | 20.48 |
| 101-150 | 14 | 16.87 |
| 151-200 | 9 | 10.84 |
| 201-250 | 8 | 9.64 |
| 251-300 | 10 | 12.05 |
| 301-350 | 3 | 3.61 |
| 351-400 | 4 | 4.82 |
| 401-450 | 6 | 7.23 |
| 451-500 | 1 | 1.21 |
| 501-550 | 1 | 1.21 |
| 551-600 | 1 | 1.21 |
| 601-650 | 1 | 1.21 |
| 651-700 | 1 | 1.20 |
| 701-750 | 0 | 0.00 |
| 751-800 | 1 | 1.20 |
| 801-850 | 0 | 0.00 |
| 851-900 | 1 | 1.20 |
| Mayor de 900 | 1 | 1.20 |
| Total | 83 | 100.00 |

De acuerdo con la información recabada, la longitud total de las cárcavas fue de 21,265 m, el volumen de suelo que ha sido removido correspondió a 19612.75, m³, que de acuerdo a la textura de los sitios, la masa del suelo es equivalente a 21,632.17 toneladas, en este caso solo se refiere a la masa desplazada en los puntos evaluados, sin considerar otras formas de erosión como es la eólica o la hídrica de tipo laminar.

Las profundidades de las cárcavas variaron desde pocos centímetros hasta 1.0 m, esto es ocasionado por presencia de una capa endurecida, que se caracteriza con tener altos contenidos de arcilla y por el origen geológico del suelo (rocas sedimentarias), que tienen altos niveles de carbonatos de calcio, ha propiciado que el ancho de las cárcavas

sean muy variables dependiendo de las condiciones físicas del lugar, encontrándose que los valores varían de algunos centímetros hasta cinco o seis metros .

Uno de los principales factores que influyen en el deterioro de los ecosistemas es la degradación del suelo que se relaciona con los procesos inducidos por el hombre, que disminuyen la capacidad actual y/o futura del suelo para sostener la vida humana (Oldeman 1988). Los fenómenos de degradación disminuyen la calidad de los suelos, entendida ésta como la capacidad de un tipo específico de suelo para funcionar, dentro de los límites de un ecosistema natural o manejado, sosteniendo la productividad vegetal y animal, manteniendo o mejorando la calidad del aire y del agua, y sustentando la salud humana. En las zonas áridas y semiáridas se les consideran ambientes marginales para la producción de cultivos en condiciones de temporal debido a que se tienen el 53% de los suelos aptos para la agricultura, pero sólo disponen de 7% del agua y con lluvias entre 200 y 500 mm anuales y que además son de poca duración comparado con el trópico húmedo donde se tiene disponibilidades hasta 64% de humedad, considerando que sólo cuenta con el 11% de los suelos aptos para fines agrícolas (Doran y Parkin 1994).

Otros autores mencionan que las actividades humanas que inducen la degradación de suelos son; las agropecuarias, incluyendo la deforestación, el manejo inadecuado de los recursos forestales, el sobrepastoreo y los sistemas inadecuados de producción agrícola, así como de la explotación de yacimientos superficiales y subterráneos de minerales, otros materiales, como es caso en la zona de estudio con la exploración y explotación del gas. A nivel mundial, el principal proceso de degradación de suelos está constituido por la erosión hídrica, la cual origina problemas al menos a tres niveles. A nivel de parcela o en el sitio donde afecta las propiedades del suelo, reduciendo la disponibilidad de agua y de nutrientes para las plantas y la profundidad de enrasamiento, afecta su productividad y representa una pérdida en el almacenamiento de nutrientes minerales del ecosistema. Además, el déficit hídrico reduce la productividad de las plantas, la producción de sus semillas y la germinación de las mismas (Jordan 1983).

La capacidad de transporte de sedimentos en un cauce de agua ha sido motivo de investigaciones, debido al uso más frecuente de recursos hídricos de fuentes superficiales en los que se dan lugar procesos de erosión y sedimentación. De esta manera, al aplicar la ecuación de Manning en las cárcava de las diferentes comunidades donde se evaluó el movimiento de flujo, se observó la interacción de las actividades relacionadas con PEMEX y actividades productivas de tipo agrícola, de esta manera, las localidades que tienen más problemas de erosión hídrica fueron los Ejidos Escuadrón 201 No. 1, Javier Rojo Gómez y Anacuas No. 2, en el Cuadro 4.3, se puede observar que en dichas localidades fueron los que tuvieron más masa de suelo erosionada, en Aniceto Lopez Salazar la capacidad de movimiento de flujo es mayor, sin embargo, debido a que el sitio está rodeado por vegetación natural la dimensión de la cárcava no es tan grande.

Cuadro 4.3. Parámetros, promedio de las cárcavas evaluadas en las localidades de trabajo.

| Localidad | Volumen suelo erosionado (m ³ cárcava ⁻¹) | Masa de suelo erosionada (ton cárcava ⁻¹) | Velocidad del flujo (m seg ⁻¹) | Gasto (m ³ seg ⁻¹ cárcava ⁻¹) |
|--------------------------------|--|---|--|---|
| Sitio 1 | | | | |
| Anacuas No 2 | 259.30 | 285.23 | 2.32 | 2.64 |
| Aniceto López Salazar | 87.0 | 95.70 | 2.92 | 4.34 |
| Buenos Aires | 148.47 | 163.32 | 2.08 | 0.88 |
| Escuadrón Doscientos uno No. 1 | 312.46 | 343.71 | 1.80 | 1.18 |
| Javier Rojo Gómez | 261.15 | 287.27 | 2.06 | 1.84 |
| Orégano. | 159.98 | 175.98 | 2.22 | 1.94 |
| Grullo | 159.80 | 175.78 | 2.20 | 2.48 |
| Sitio 2 | | | | |
| General Anacleto Guerrero | 79.06 | 86.97 | 2.41 | 1.77 |
| Francisco Villa | 279.50 | 307.45 | 2.49 | 2.99 |

Las velocidades promedio estimadas para todas las cárcavas en estudio, fueron erosivas, ya que superan ampliamente la velocidad permisible no erosiva que está planteada para valores de 0.70 m s^{-1} . En general, en todos los sitios se tiene un impacto en la erosión debido en el incremento de la carga de sedimentos de suelo, que involucra el sistema coloidal, lo cual ofrece un condición desfavorable para el aprovechamiento del suelo y del recurso hídrico, de igual manera la erosión provoca alteraciones ecológicas que afectan la flora y fauna.

4.3. Construcción de Represas

El espaciamiento estimado entre presas varió de 23 a 67 m, lo cual dependió principalmente de la topografía, construyendo un total de 590 obras, por lo que en promedio se tuvo un espaciamiento de 36 metros entre represas, siendo las comunidades de Anacuas No. 2 y la pequeña propiedad denominada el Orégano donde se localizó el mayor índice de cárcavas. Se trabajaron en nueve localidades de las cuales siete son ejidales y dos pequeñas propiedades, en el Cuadro 4.4, se muestran el número de obras realizadas, cabe señalar que el 95 % de ellas se concentraron en la zona 1, ya que ahí se presentan los mayores problemas de erosión a causa de la concentración de obras de PEMEX, y un grado de pendiente mas alto, sobresaliendo la comunidad de Anacuas No. 2 donde se construyeron el mayor número de represas. La dimensión de las obras tuvieron un rango de 1 a 5 m de ancho, sin embargo debido a las condiciones edáficas y climatológicas han propiciado que el ancho de algunas cárcavas en las localidades de Escuadrón 201 y Anacuas No 2. se hayan ensanchado hasta ocho metros, esto debido a que estas cárcavas tienen forma de "U" y son comunes en áreas con material heterogéneo y están constituidas por materiales resistentes, como arcillas cementadas y un piso de arado, en este caso el canal se ensanchó hacia los lados que se excavan adentro durante flujos excepcionales. Las profundidades de las represas variaron desde algunos 0.3 m hasta un metro, en el anexo tres se muestran la descripción de cada una de las obras con su localización geográfica.

Cuadro 4.4. Relación de sitio y número de represas construidas

| Localidad | Tenencia de la tierra | Número de obras |
|--------------------------------|-----------------------|-----------------|
| Sitio 1 | | |
| Anacuas No 2 | Ejidal | 286 |
| Aniceto López Salazar | Ejidal | 4 |
| Buenos Aires | Pequeña propiedad | 40 |
| Escuadrón Doscientos uno No. 1 | Ejidal | 65 |
| Javier Rojo Gómez | Ejidal | 62 |
| Santa Clara del Orégano. | Pequeña propiedad | 98 |
| Grullo | Ejidal | 5 |
| Subtotal | | 560 |
| Sitio 2 | | |
| General Anacleto Guerrero | Ejidal | 11 |
| Francisco Villa | Ejidal | 19 |
| Subtotal | | 30 |
| Total | | 590 |

4.4. Evaluación de las obras.

4.4.1. Resultados del muestreo.

Una acción importante del proyecto es la evaluación de resultados, ya que indica el impacto de las acciones realizadas en la zona de estudio. La medición se llevó a cabo de acuerdo con la presencia de lluvias, de tal manera que se realizaron diversos muestreos, en el Cuadro 4.5, se muestra el resumen general de la evaluación.

Cuadro 4.5. Valores de promedio de suelo retenido por represa por sitio evaluado

| Sitio | Superficie promedio (m ²) | Volumen (m ³) | Masa Total (ton) |
|--------------------------------|---------------------------------------|---------------------------|------------------|
| Escuadrón Doscientos uno No. 1 | 82.54 | 26.41 | 31.69 |
| Santa Clara del Orégano | 34.21 | 15.80 | 18.51 |
| Javier Rojo Gómez | 27.76 | 9.80 | 11.76 |
| Gral Anacleto Guerrero | 12.70 | 4.76 | 3.29 |
| Anacuas dos | 33.19 | 15.02 | 18.02 |
| Francisco Villa | 55.46 | 40.50 | 28.99 |

Las prácticas para el Control del Esgurrimiento no solamente tienen como función frenar la velocidad del agua que escorre sobre las cárcavas, sino que su efecto va ligado al mejoramiento de la infiltración, por consiguiente al aumento de la humedad en el suelo y renovación de la vegetación. Por tanto, estas prácticas no solo son estructuras físicas ubicadas en forma permanente en el terreno, sino que incluyen también otras prácticas que se realizan en forma periódica en el suelo



Figura 4.2. Control de la erosión hídrica en el Ejido Escuadrón Doscientos uno No. 1

De acuerdo con los resultados obtenidos de los sitios de muestreo, la cantidad de suelo restaurado en promedio por represa fue de 16.89 ton, por consiguiente las 590 represas tienen una capacidad potencial de restauración con la información disponible de 9,964.25 toneladas, considerando que solamente en ciertos lugares como es el caso de Escuadrón 2001 No. 1 (Figura 4.2), y la propiedad del Orégano, algunas represas llegaron a su capacidad límite, por lo que se considera que los datos de evaluación tienen cierto nivel de parcialidad en cuanto al tiempo de muestreo.

Las obras realizadas tienen una acción positiva en la restauración de suelos de la zona, donde es importante considerar, el planteamiento de la ubicación de las represas debe ser con base a una metodología de diseño, el reforzamiento de éstas mismas, en puntos críticos (Figura 4.3), como son aquellos de mayor pendiente y donde se tienen aportes laterales de flujo y la rehabilitación de las obras, por derrumbamientos por maquinaria agrícola, industrial, animales o por eventos extraordinarios como precipitaciones fuera de lo normal como fue lo registrado en dos eventos presentados que fue el huracán Emily en Julio de 2005 y las lluvias presentadas en octubre de 2006 en donde se tuvo una lluvia fue aproximadamente de 250 mm, en cada uno de los eventos, es importante aclarar que no en todas las comunidades se realizó la evaluación ya que en algunos casos como en el Rancho Buenos Aires, la reciente construcción de las obras no permitió medir la cantidad de azolve retenido.



Figura 4.3. Efecto del reforzamiento en el Rancho Santa Clara del Orégano, en áreas con aportaciones laterales y de mayor pendiente.

Las obras de PEMEX, tuvieron una influencia en todos los sitios, ya que en las cárcavas donde se establecieron las obras prácticamente existen obras relacionada con la exploración y explotación del gas como son; pozos, estación de recolección compresión y bombeo, brechas, caminos y gasoductos, esto debido que en el proceso de construcción de dichas obras no se realiza alguna labor de conservación, de suelos, se puede afirmar que es un factor que interviene en el proceso de erosión. La erosión de los suelos es un proceso natural, sin embargo, debido al uso intensivo de las tierras agrícolas y al manejo inadecuado, la dinámica del paisaje ha cambiado. Como consecuencia de tales actividades del hombre, la erosión de los suelos se está acelerando.

Otros factores que intervienen es la agricultura ya que parte de la zona de estudio se localiza en el Distrito de Temporal Tecnificado 010 San Fernando y que debido a las variaciones interanuales y estacionales de las condiciones climáticas, así como el manejo de los cultivos tiene efectos significativos en el desarrollo del proceso de la erosión, afectando la consecuentemente productividad agrícola y las condiciones ambientales de la zona. De tal manera que, la degradación del suelo por el uso

excesivo de prácticas mecánicas le ha provocado graves alteraciones físicas al deteriorarle la estructura natural, pues aumenta la compactación y densidad aparente, encostramiento superficial, baja infiltración, alta evaporación de la humedad y graves problemas de erosión por viento y agua, en la zona de estudio se ha podido evidenciar que la pérdida de suelo por erosión eólica es de $25 \text{ ton ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ (Rodríguez y Espinosa, 2006)

Las represas de control de azolve presentan una alternativa en la solución de la erosión hídrica, existen varias zonas donde se están utilizando con buenos resultados. La Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales, por medio del programa federal de empleo temporal (PET), desde el año de 1998 ha realizado trabajos sobre el control de la erosión hídrica y eólica en comunidades del altiplano del estado así como en la región del municipio de San Fernando. Estos trabajos, consistieron en realizar plantaciones como cortinas rompevientos para el control de la erosión eólica en la zona de San Fernando y la construcción de presas filtrantes, construidas de piedra para el control de erosión hídrica, bordos a nivel, y revegetación en bordos esto en comunidades de los municipios de Jaumave, Palmillas, Bustamante, Miquihuana y Tula. Una vez constituida la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) retoma estas actividades del programa de empleo temporal (PET) para realizar acciones de conservación y restauración de suelo en aquellas zonas requeridas. (CONAFOR 2003).

Rodríguez y Espinosa (2006), utilizaron represas de mallas y ramas en el control de escurrimiento para disminuir el proceso de la erosión en suelos del Distrito de Temporal Tecnificado 010 San Fernando, encontrando una eficiencia de dichas estructuras, donde la construcción se puede dar en cualquier época del año, siendo más eficiente si se establece en los meses de julio y agosto, con lo cual favorece que en los meses de octubre y noviembre se establezcan con barreras vivas. De esta manera, se pueden tener alturas de suelo retenido de 20 a 40 cm, dependiendo de las lluvias que se presenten en la zona. Además se observó que al construir represas de malla y ramas, resisten a la presencia de lluvias por arriba de lo normal, como fue el caso del huracán Emily, el cual registró lluvias de 210 mm en un periodo de tres días.

4.4.2. Análisis de Varianza del muestreo de azolve

El análisis de varianza donde se integraron las tres fechas de muestreo mostró una diferencia estadística significativa, en las variables de Volumen de azolve, en relación al sitio, y uso del suelo, por lo que existe un comportamiento diferente en la construcción de la represas sobre las localidades y uso del suelo. En cambio no hubo significancia en cuanto al punto y a la fecha de muestreo, por lo que se considera que el momento de muestreo fue el indicado así como los sitios fueron seleccionados en forma adecuada (Cuadro 4.6).

Cuadro 4.6. Resultados del Análisis de varianza, considerando las fechas de muestreo.

| Variable | Nivel de probabilidad Pr > F | | | |
|--|------------------------------|---------------|-------------------|-------------------|
| | Sitio de muestreo | Uso del suelo | Punto de muestreo | Fecha de muestreo |
| Volumen Total | <0.0001** | <0.0001 ** | 0.5229 N.S | 0.3745 N.S |
| Superficie | 0.0686* | 0.0983 N.S. | 0.6206 N.S | 0.0628 N.S |
| Masa | 0.0807 N.S. | 0.0097 ** | 0.0097 ** | 0.7028 N.S. |
| ** altamente significativo * significativo N.S: No significativo | | | | |

Por otro lado al realizar el análisis de varianza, con los resultados totales (Cuadro 4.7), éstos indican que hubo significancia estadística en las variables de respuesta volumen de suelo retenido en relación al sitio de evaluado y uso del suelo, la superficie recuperada tuvo significancia estadística en cuanto al sitio de muestreo y al uso del suelo, y en la masa total de suelo acumulado solo tuvo significancia con relación al sitio de muestreo. Siendo los resultados muy similares, a los analizados en las tres fechas de muestreo.

Cuadro 4.7. Resultados del Análisis de varianza, considerando los valores totales de muestreo

| Variable | Nivel de probabilidad Pr > F | | |
|--|------------------------------|----------|----------------|
| | Sitio | Uso | Punto evaluado |
| Volumen total | 0.0017** | 0.0002** | 0.6885 N.S. |
| Superficie total | 0.0208* | 0.0426* | 0.3856 N.S. |
| Masa Total | 0.3379 N.S. | 0.0725* | 0.5266 N.S: |
| ** altamente significativo * significativo N.S: No significativo | | | |

Para establecer en forma más puntual en cuanto al efecto de las distintas se realizó una prueba de medias de Tukey, en aquellas variables donde hubo significancia estadística, a un nivel de confianza de 95%.

4.4.2.1. Sitio de muestreo

Con relación al análisis de comparación de medias en cuanto a los sitios, se encontraron diferencias en la mayor parte de las comunidades, tanto en volumen de azolve retenido y en restauración de superficie, por lo que la construcción de las represas tuvo un comportamiento diferente en las diversas comunidades, en los Cuadros 4.8 y 4.9, se muestran los resultados. Las diferencias se expresan entre localidades en de la zona una y dos del área de trabajo, principalmente entre el Ejido Francisco Villa y las otras comunidades.

Las características de los sitios de muestreo en general, fueron distintas en cuanto a la topografía, características físicas del suelo y en el uso (el cual se analiza en forma particular), el área comprendida de Santa Claro del Orégano, y Anacuas, presentan pendientes mayores comparados con los otros sitios, ya que la pendiente varia de 1.4 a 1.5 %, además presentan un relieve ligeramente ondulado considerándose que es uno de los factores que intervienen en la erosión hídrica, existiendo una relación directa entre la erosión y la pendiente, en cambio en las otras áreas los valores están cercanos a 1.0%, por lo que la concentración de sedimentos y la masa de suelo erosionado se incrementaron cuando aumentó el ángulo de la pendiente y su longitud. Esto debido al incremento en la velocidad del flujo, lo cual resultó como un mejor separador, transporte y la movilización de las partículas por el impacto del flujo de la lluvia.

En cuanto a las propiedades del suelo la zona de estudio presenta valores bajos de materia organica (1 – 2%), que es la propiedad que interviene en la agregación del suelo, estos valores bajos se relacionan con una baja incorporación ya sea por parte de los cultivos o de aplicaciones de abonos o de otros materiales, existen algunos esfuerzos aislados en la aplicación de gallinaza, observándose buenos resultados en el

aumento de la producción en el cultivo de sorgo, de 2 a 2.5 ton/ha, sin embargo esto se ha realizado en áreas que pequeñas que van de 20 a 30 ha.(Rodriguez y Espinosa 2006).

Cuadro 4.8. Prueba de comparación de medias de Tukey, en las tres fechas de muestreo, con relación al sitio

| Sitio | Diferencia entre medias | Limite de Confianza 95% |
|---|-------------------------|-------------------------|
| Variable de respuesta Volumen de azolve retenido (m³) | | |
| Francisco Villa – Santa Clara del Orégano | 8.234 | 2.396 14.073 ** |
| Francisco Villa – Anacuas No. 2 | 8.495 | 2.564 14.426 ** |
| Francisco Villa – Javier Rojo Gomez | 10.234 | 4.546 15.923 ** |
| Francisco Villa – Anacleto Guerrero | 11.916 | 3.119 20.713 ** |
| Escuadrón 201 - Javier Rojo Gomez | 5.536 | 0.058 11.015 ** |
| Variable de respuesta superficie con azolve retenido (m²) | | |
| Escuadrón 201- Santa Clara del Orégano | 16.112 | 0.497 - 31.727** |
| Escuadrón 201 - Anacuas No. 2 | 16.452 | 0.573 - 32.331** |
| Escuadrón 201 - Javier Rojo Gomez | 18.320 | 3.137 33.503** |
| Variable de respuesta masa de suelo retenida | | |
| Escuadrón 201 - Javier Rojo Gomez | 6.644 | 0.083 13.205 ** |

Cuadro 4.9. Prueba de comparación de media Tukey cantidades totales con relación al sitio

| Sitio | Diferencia entre medias | Limite de Confianza 95% |
|---|-------------------------|-------------------------|
| Variable de respuesta volumen de azolve retenido (m³) | | |
| Francisco Villa – Javier Rojo Gomez | 30.701 | 5.035 - 56.366** |
| | | |
| Variable de respuesta superficie con azolve retenido (m²) | | |
| Escuadrón 201 – Javier Rojo Gomez | 54.78 | 2.47 - 107.10** |

Otros autores han realizado estudios donde han evaluado la influencia de la pendiente, así Bradford y Foster (1996), estudiaron la producción de sedimento en cárcavas, el volumen de flujo y tamaño de sedimento en condiciones de laboratorio bajo una simulación de lluvia equivalente a 72 milímetros de precipitación en una hora, en suelos con pendientes de 9 y del 20%. Los resultados muestran que cuando la inclinación de la pendiente aumentó, el salpicamiento por lluvia, disminuyó para tres tratamientos del

suelo y aumentó para los otros cinco. El sedimento y la producción de suelo salpicado y de sedimento no tuvieron una buena correlación. En cambio el salpicamiento de la lluvia, el aumento de la pendiente fue correlacionado ($r = 0.96$) con el cambio en la producción del sedimento.

Chaplot y Bissonais (2000), citan que pesar de los numerosos estudios, el efecto de la pendiente en la erosión en cárcavas no se establece claramente, ya que existen varias interacciones entre los parámetros de la erosión y que no son considerados bajo condiciones experimentales de laboratorio, por lo que los resultados necesitan ser validados en el campo.

Los mismos autores estudiaron la influencia de la inclinación de la pendiente de 2 a 8 %, en áreas de 1 m² y 10 m² bajo precipitación natural y simulada. Los resultados indican que el volumen de flujo aumentó del 20 a 90 por ciento, al incrementarse la pendiente y la lluvia en ambos tamaños del área, mientras que la concentración del sedimento aumentó de 2 a 6 gr/l, con el aumento de la pendiente en los sitios de 10 m². En el área de 1 m², la erosión, y el transporte de sedimentos, fue limitado debido al flujo el nivel de lluvia reducido

Fox y Bryan (2000). Realizaron una investigación sobre el cambio de la proporción de la erosión en cárcavas, de acuerdo a la pendiente y su relación con la velocidad de salida del flujo. El trabajo se llevo a cabo en un suelo de textura franco arenoso, el cual fue puesto en bandejas con dimensiones de 100 x 40 x 10 cm, bajo condiciones de simulación de precipitación en un tiempo de 75 minutos. Los resultados muestran que la erosión por el golpeteo del agua representó solo el 20% de la erosión total. El impacto del flujo en la erosión tuvo un máximo al inicio de la simulación para decrecer posteriormente, limitado probablemente por la distancia. Para un volumen constante de flujo de salida, la erosión aumentó al cuadrado de la del gradiente de la pendiente. La pérdida del suelo fue correlacionada (0.81) con velocidad de la salida bajo condiciones experimentales.

Grosh y, Jarrett, (1994), reportan una investigación, relacionada con la erosión y la salida del flujo bajo condiciones de laboratorio, donde simularon la lluvia por un periodo de 20 minutos, equivalente a 92 mm/h, en suelos con seis niveles de pendientes que varían de 5 a 85 %. La pérdida de suelo de aumentó linealmente con la pendiente, con cantidades de 3.34 gr/m² min en la pendiente del 5% y 22.47 g/m² min en la pendiente del 85%. Concluyendo que la combinación del lavado y el salpicado de suelo estimado para un metro cuadrado, tuvieron una relación lineal con la pendiente

Chaplot y Bissonnais (2003), realizaron un estudio conducido bajo condiciones de campo donde se investigo el efecto de la intensidad de la lluvia, la longitud y grado de pendiente sobre la cantidad de azolve y el patrón de erosión, en parcelas experimentales de 1 y 5 metros de longitud y pendientes de 4 y 8 % respectivamente. De acuerdo con los resultados, la cantidad de sedimentos, se comportó de acuerdo con la intensidad de la lluvia y el gradiente de pendiente, los valores variaron de 2.9 a 49 g/l, con coeficientes de drenaje de 34 a 98 %. El coeficiente de drenaje fue afectado por tres factores intensidad de la lluvia ($r=0.48$ $p < 0.001$), grado de pendiente ($r= 0.51$ $p<0.001$) y la longitud de la pendiente ($r = 0.51$ $p< 0.001$).

4.4.2.2. Uso del suelo

De acuerdo con los resultados de los análisis de varianza hubo una significancia estadística del uso del suelo en cuanto a las variables de respuesta volumen, superficie de suelo retenido aunque en menor grado también para masa de suelo retenida, en base a lo anterior se realizó una prueba de comparación de medias, para saber los resultados muestran que hubo un comportamiento diferente en agrícola y pastizal en términos de superficie y de matorral y pastizal en relación al volumen total retenido.

Los resultados de la prueba de comparación de medias indica que el uso del suelo que mas sobresale es el agrícola ya que presentó diferencias con el uso de pastizal, tanto en las variables de volumen de superficie y de masa de suelo en el análisis integral por

fechas, en cambio cuando se analizó con los valores totales el uso que sobresalió fue el de vegetación de matorral (Cuadros 4.10 y 4.11).

Cuadro 4.10. Prueba de comparación de medias de las variables de respuesta con relación al uso del suelo

| Uso del suelo | Diferencia entre medias | Limite de Confianza 95% |
|---|-------------------------|-------------------------|
| Variable de respuesta Volumen de azolve retenido (m³) | | |
| Matorral – Pastizal | 7.006 | 3.261 - 10.752*** |
| Agricultura - Pastizal | 4.565 | 1.160 - 7.970*** |
| Variable de respuesta superficie con azolve retenido (m²) | | |
| Agricultura – Pastizal | 11.964 | 2.763 - 21.165*** |
| | | |
| Variable de respuesta masa de suelo retenida | | |
| Agricultura - Pastizal | 5.628 | 1.652 - 9.604*** |
| Agricultura - Pastizal | 5.376 | 0.891 - 9.862*** |

Cuadro 4.11. Prueba de comparación de medias de las variables de respuesta con relación al uso del suelo

| Sitio | Diferencia entre medias | Limite de Confianza 95% |
|---|-------------------------|-------------------------|
| Variable de respuesta Volumen de azolve retenido (m³) | | |
| Matorral – Pastizal | 21.018 | 4.395 - 37.6417** |
| Variable de respuesta superficie con azolve retenido (m²) | | |
| Agricultura - Pastizal | 35.72 | 4.54 - 66.91** |

De acuerdo con los valores promedios del azolve de las represas evaluadas en el cuadro 4.12, se muestran los valores para cada uno de los tres usos identificados, en el área agrícola se tuvo una mayor retención de azolve y en consecuencia un mayor movimiento de sedimento, el comportamiento en la retención no llevo un orden, más bien dependió de la dirección del flujo principal y de las aportaciones laterales, ya que en esos suelos comúnmente al menos seis meses por año se encuentra desprovista de vegetación, si se agrega el efecto de las obras de PEMEX, el movimiento de azolve tiende a ser más alto, por consiguiente hay mayor retención de este material. En el sitio que presentó un mayor movimiento de azolve fue en Escuadrón 201 No. 1., con un valor promedio de 31 ton/represa, este sitio se caracteriza por estar localizado en una

en una microcuenca donde aproximadamente el 95 % del área se encuentra desprovista de vegetación.



Figura 4.4. Cárcavas números 77 y 97, estabilizadas en un predio con pasto buffel en el Ejido Anacuas No. 2

En cambio en los suelos que tienen pastos la cantidad de azolve retenido fue menor, en estas áreas es mayor la infiltración del agua, como en la mayor parte de los sitios el escurrimiento es menor, por lo que se reduce el proceso de la erosión hídrica, como quedó de manifiesto en las cárcavas 77 y 85, en la localidad de Anacuas No. 2., donde la velocidad del flujo fue estimada de 1.42 y 1.19 m/seg, lo que ha propiciado que parte del flujo se infiltre, y que con las represas construidas, la velocidad aún sean menores estimándose en 0.99 y 0.83 m/seg respectivamente por lo que esos suelos llegaron a un nivel de estabilidad en el control de erosión de suelos.

Cuadro 4.12. Cantidad de suelo retenido con base al uso de suelo

| Uso del suelo | Volumen m ³ presa ⁻¹ | Superficie m ² presa ⁻¹ | Masa Kg presa ⁻¹ |
|---------------|--|---|-----------------------------|
| Agrícola | 20.18 | 54.01 | 24.21 |
| Matorral | 27.50 | 42.46 | 22.83 |
| Pecuario | 6.48 | 18.28 | 7.32 |

La estabilización de las cárcavas además de depender de las obras realizadas también fueron influenciadas por la colocación de ramas en la parte media entre represas, el desarrollo de vegetación secundaria como pastos y plantas locales como el polocote (*Helianthus annuus* L) (Figura 4.5), lo anterior se observó en las cárcavas 22 del ejido escuadrón 201 y 64 en ejido Anacuas No. 2., se considera que la cubierta de la vegetación en el suelo es eficaz en el control de la erosión, ya que absorbe la energía cinética de gotas de agua, cubre una proporción grande del suelo durante los períodos del año cuando la precipitación es más agresiva, retrasa la salida del flujo, y mantiene la superficie del suelo porosa, bajo esta condición la velocidad del flujo se puede reducir hasta en un 30 %.



Figura 4.5. Influencia de la vegetación en la estabilización de una cárcava

Otros autores han realizados estudios relacionados con el efecto del uso del suelo en cuanto a la erosión así y obtenido resultados similares, Hanson *et al*, (2004), realizaron un trabajo con el objetivo de evaluar el efecto de la precipitación en la hidrología superficial, debido a la conversión de bosques primarios a la agricultura en Honduras. La evaluación se llevo a cabo en áreas de pastos, en una plantación de café y bosque primario. Las velocidades de infiltración y de la salida del flujo superficial fueron evaluadas. De acuerdo con los resultados hubo una diferencia en la conductividad

hidráulica entre las tierras modificadas en su uso y no-degradadas. Las áreas cubiertas de matorrales degradados desarrollaron una capa restrictiva superficial con una conductividad hidráulica saturada baja de 8 a 11 mm/hr, dando por resultado un flujo superficial mas alto que la plantación de café y el bosque primario. Los suelos bajo últimos dos tipos de uso mantuvieron altas capacidades de la infiltración y condujeron fácilmente el agua verticalmente en los índices de 109 y 840 mm/hr, respectivamente. Las pruebas de colorantes confirmaron que la plantación del café y el bosque primario mantuvieron los macroporos bien conectados a través de los cuales el agua fluyó fácilmente.

Ramírez y Oropeza (2001), Realizaron una evaluación de algunas prácticas conservacionistas en el estado de Chiapas, con relación al efecto del uso del suelo y la erosión, probándose tres tratamientos; Sistema tradicional, como testigo, Barrera viva de cocuite (*Gliricidia sepium*) con surcado al contorno y labranza de conservación, todos en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.). De acuerdo con los resultados, las eficiencias de los tratamientos, de las barreras vivas con surcado en contorno y labranza de conservación tuvieron una mayor eficiencia para controlar el escurrimiento superficial, comparadas con el testigo, así en 1996 se tuvo 45.66 y 49.07%, en 1997, con 20.50 y 23% respectivamente. La pérdida de suelo en 1996 fue 7.9, 2.9 y 2.4 t ha⁻¹, mientras que en 1997 fue de 6.52, 5.07 y 2.64 t ha⁻¹, dichos tratamientos redujeron la pérdida de suelo en 64 y 70% respecto al testigo en 1996. En 1997 las eficiencias fueron 23 y 60%. Concluyendo que el uso del suelo tiene una relación directa con la erosión, así el sistema tradicional provocó un mayor índice, lo cual supera las pérdidas permisibles de suelo.

Al analizar los impactos de las represas por sitio, se tiene que en el Ejido Escuadrón 201 No. 1, la masa de azolve en la cárcava cuatro se observó que en la parte final existió una mayor acumulación de azolve, la característica principal de este sitio es que se localiza en una área plana, y abierta al cultivo, la cantidad de suelo retenido varió de 23.8 a 63.48 ton/ha, donde el uso del suelo es agrícola, en la producción anual de sorgo para grano. El comportamiento del escurrimiento se manifestó de acuerdo con las

aportaciones laterales a través del cauce, como consecuencia del suelo desnudo, en este caso, los bajos valores se relacionan con la presencia de residuos de cosecha y malezas en la plantilla del cauce, por lo que la cobertura vegetal reduce drásticamente la velocidad del flujo, ya que de acuerdo con la ecuación de Manning cambia de 4.1 m/s a 3.0 m/s, lo que permite una mayor infiltración del agua, y disminución del efecto erosivo sobre el suelo, por lo cual las practicas vegetativas también tienen una influencia positiva en la restauración de suelos. (Figura 4.5).

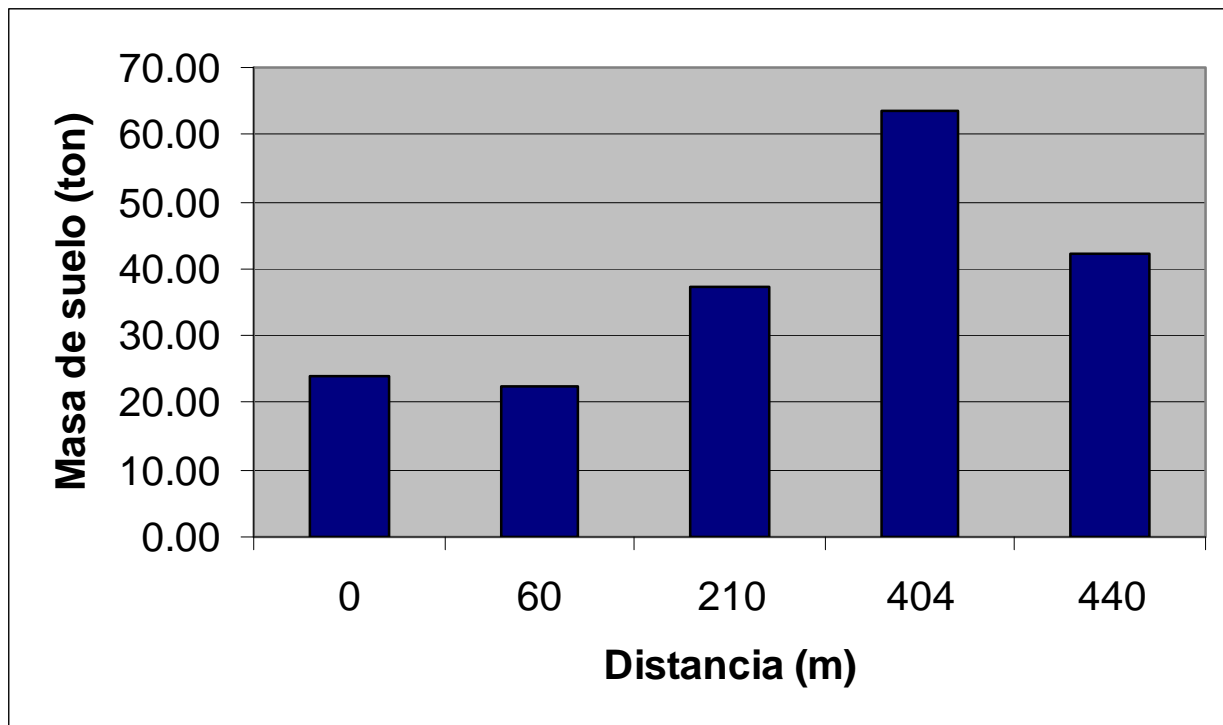


Figura. 4.6. Distribución de la retención de azolve en la cárcava cuatro en el Ejido Escuadrón 201.

En el caso de la comunidad “Francisco Villa”, la cantidad de suelo retenido varió de 5.7 a 50 toneladas por represa, teniendo un uso actual agrícola en la producción de sorgo bajo condiciones de temporal. Es importante considerar que está cárcava se formó por la construcción de un gasoducto, de tal manera, que un momento el conducto estuvo expuesto debido a la remoción suelo, en la actualidad se le considera como una cárcava ya estabilizada, con vegetación natural en el cauce.

El comportamiento de restauración de la cárcava fue de una manera potencial, existiendo una mayor retención de suelo, en la parte final de la cárcava lo que denota que hubo una disminución de la velocidad del flujo después de las primeras represas, lo que indica el buen funcionamiento de la estructura, así como su resistencia, en la Figura 4.6, se puede observar que la mayor aportación de azolve, proviene de la parte topográficamente más alta, y que al tener menor retención de suelo, en las represas de la parte superior se asume, que además existieron aportaciones laterales.

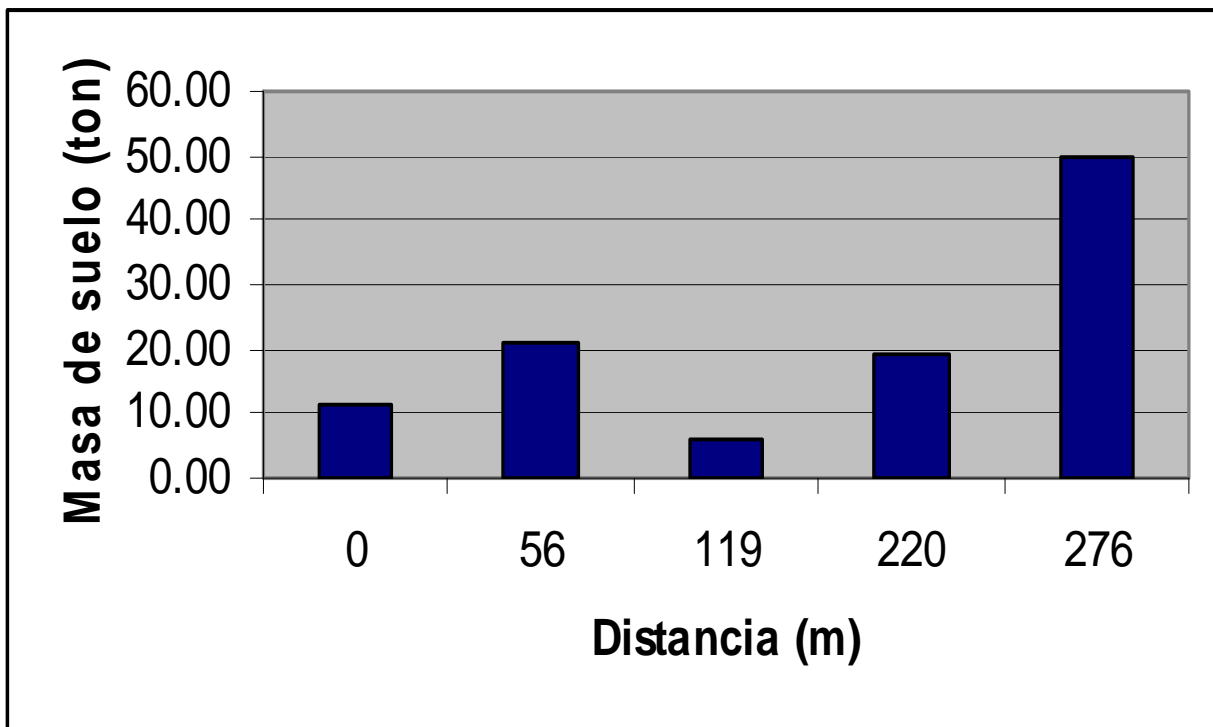


Figura. 4.6. Distribución de la retención de azolve en la cárcava cuatro en el Ejido Francisco Villa.

Al analizar los impactos de las represas por sitio, se tiene que en la propiedad de “El Orégano”, la cárcava en cuestión se encuentra localizada en un sitio con vegetación natural, y el uso actual es agostadero, su formación estuvo relacionada con la construcción de un camino de acceso a un pozo de gas. La condición actual de la cárcava se le considera como estabilizada por la cantidad de suelo retenido y a la regeneración de vegetación sobre la plantilla. Las represas construidas tuvieron una retención de suelo que varió de 5.1 a 73.9 toneladas, por obra, en este caso el

comportamiento de las represas construidas estuvo influenciado por la topografía del lugar, ya que la cárcava se localiza en un sitio donde la pendiente tiene diferentes grados de inclinación, por lo cual el comportamiento dependió de los aportes laterales y la velocidad del flujo, siendo la parte central de la cárcava donde se encontró la máxima cantidad retenida, debido a que se tenía aportaciones de ambos lados. Los valores más bajos en cuanto a la retención de azolve fueron localizados al inicio de la cárcava, ya que se localizan en la parte más plana (Figura 4.7)

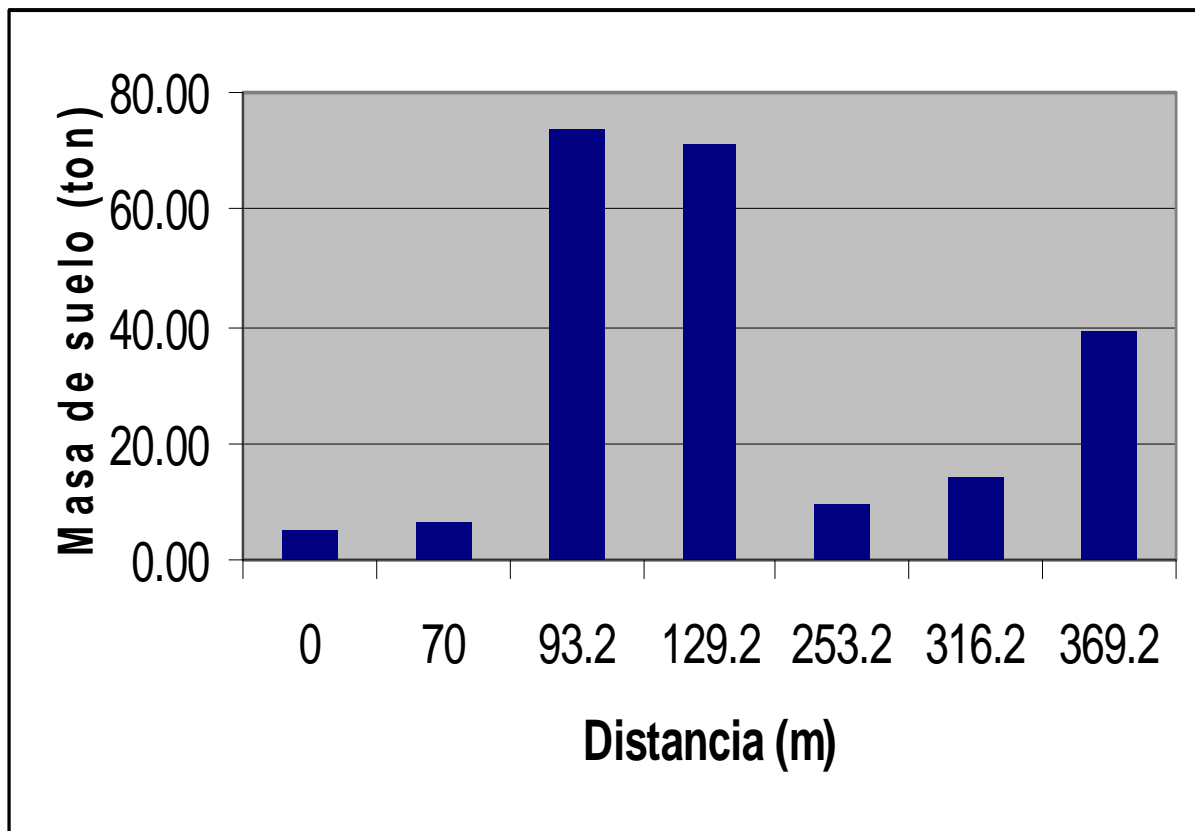


Figura. 4.7. Distribución de la retención de azolve en nueve represas, en la cárcava cuatro, localizada en Santa Clara del Oregano.

Con relación a los resultados del muestreo en el Ejido Anacleto Guerrero, la masa de suelo retenida varió de 1.22 a 4.8 toneladas por represa, teniendo un uso actual como pecuario con zacate Buffel bajo condiciones de temporal. En este caso la cárcava se formó por la construcción de un gasoducto. El comportamiento de restauración de la cárcava se manifestó por la acumulación de azolve en los extremos, así en la parte inicial se tuvo una aportación del cauce natural de la cárcava donde se retuvo parte del

azolve, en el final la retención fue a causa de una aportación lateral. En general la cantidad de azolve retenido fue baja, ya que las raíces de los pastos, interceptan el agua provocando una mayor infiltración que escurrimiento, en otros sitios evaluados se manifestó de la misma manera, en la cárcava número 110 la cantidad varió de 0.0 a 22.5 ton por represa, en la 31 la masa de suelo retenida varió de 2.6 a 21.87 toneladas.

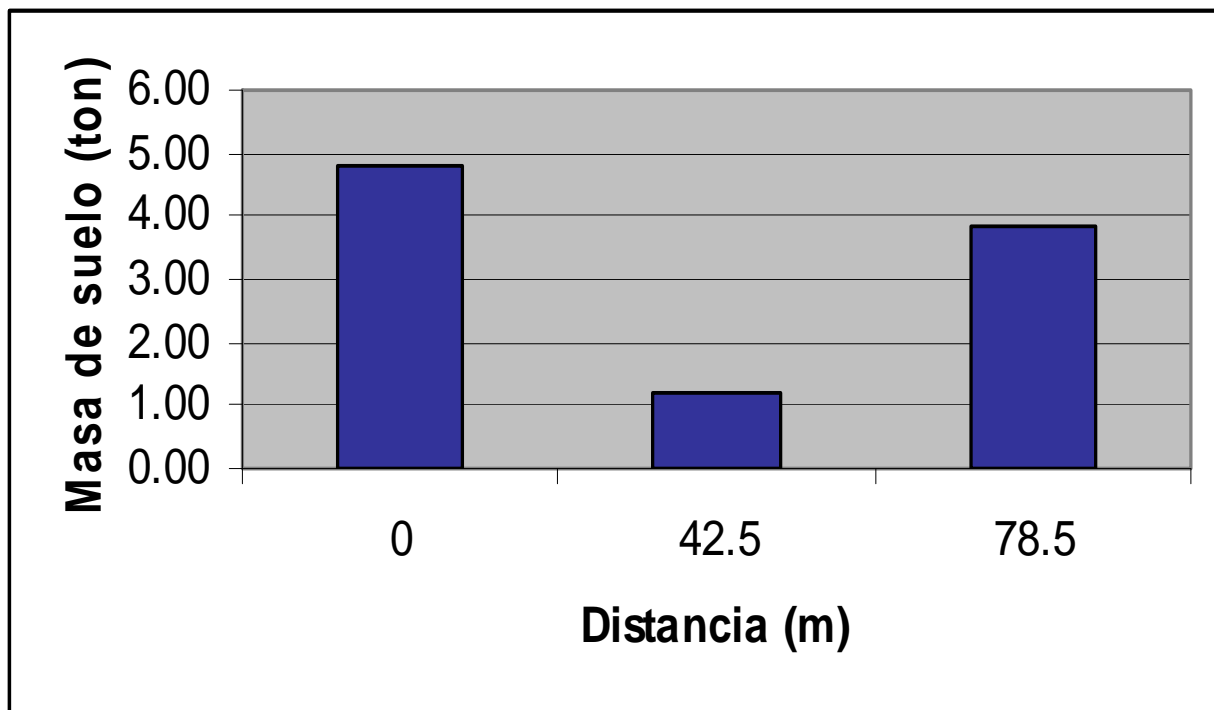


Figura. 4.8. Distribución de la retención de azolve en tres represas de noventa y tres la cárcava noventa y tres del ejido Anacleto Guerrero.

4.4.2.3. Análisis de correlación

Al realizar la prueba de correlación entre las variables Volumen total, Superficie total y Masa total, se encontró un nivel de alto de significancia, debido que estas variables tienen una relación estrecha en su estimación, e inciden entre si. Principalmente entre el volumen y la masa de suelo restaurado, en este caso el coeficiente de correlación fue de 0.90, lo que indica una relación directa entre ellas (Cuadro 4.13).

Cuadro 4.13. Resultado del análisis de correlación de las variables analizadas.

| VARIABLES | VOLUMEN TOTAL | SUPERFICIE TOTAL | MASA TOTAL |
|----------------------------|----------------------|-------------------------|-------------------|
| Volumen Total | | | |
| Coeficiente de correlación | 1.0 | 0.80165 | 0.90506 |
| Nivel de Probabilidad | | <.0001 | <.0001 |
| Superficie Total | | | |
| Coeficiente de correlación | 0.80165 | 1.0 | 0.87902 |
| Nivel de Probabilidad | <.0001 | | <.0001 |
| Masa total | | | |
| Coeficiente de correlación | 0.90506 | 0.87902 | 1.0 |
| Nivel de Probabilidad | <.0001 | <.0001 | |

4.5. Reforestación.

Esta actividad se realizó en dos etapas, la primera en el mes de septiembre del año 2005, a partir de la presencia de una buena humedad residual para el establecimiento de la planta de mezquite (*Prosopis glandulosa*), en una longitud de 7.2 km. La otra etapa de transplante se realizó entre los meses de octubre y noviembre del año 2006, (7.8 km), hasta que el suelo tuvo la humedad óptima para establecimiento del material vegetativo. Las plantaciones se llevaron a cabo en todas las comunidades a excepción dentro de las áreas agrícolas y pecuarias.

Para la plantación se utilizó planta con alturas de 15 a 40 cm. ya que es una dimensión apropiada para la siembra ya que cuentan con mayor capacidad de adaptabilidad y resistencia al estrés de plantación. En la primera plantación se tuvo una sobrevivencia del 70% de las plantas establecidas, pero se fue disminuyendo debido a la constante presencia de ganado vacuno y caprino por lo que el porcentaje disminuyó en un 30%.

Es importante mencionar que la CONAFOR fue la dependencia que proporcionó la planta de manera gratuita, siendo trasladada a la zona del proyecto del vivero denominado Alberto Carrera Torres, localizado en la Ciudad de Río Bravo del Estado de Tamaulipas.

Con respecto a la plantación realizada en el mes de octubre del año 2006 se tiene un crecimiento promedio de 5 cm. observándose una disminución de sobre vivencia de un 30% esto debido a los efectos, como la falta humedad suficiente así como por el frecuente arribo de animales vacuno, ovino y caprino al alimentarse de los brotes nuevos y como el paso de estos por encima de la planta, quebrando sus tallos provocando su muerte o un lento desarrollo fisiológico.

Otro factor importante, es que en la zona del proyecto las precipitaciones son muy escasas o de manera torrencial lo que provoca que el suelo no llegue a una capacidad de campo permitida para que la planta pueda tener disponibilidad de la humedad. Sin embargo una de las ventajas, cuando las condiciones son las adecuadas existe una regeneración de la vegetación natural, incluyendo otras especies, ya que cuando se acumula el azolve en las represas, este va acompañado de semillas y pequeñas plantas de diversas especies como son mezquite, cenizo, huisache y pastos entre otros, como ejemplo se tiene las siguientes cárcavas 1, 4, 5, 6, 28, 64, 74, 77 y 97.

4.6 Talleres teóricos prácticos a productores.

De acuerdo al programa de actividades del proyecto, se incluyeron cinco talleres de capacitación, sin embargo en la zona de estudio existe un problema de migración hacia las ciudades cercanas, como Reynosa, Matamoros, Río Bravo y Valle Hermoso. Cuando se invitó a participar en el quinto curso taller no hubo la asistencia suficiente por parte de los productores, por lo que solamente se impartieron cuatro de ellos, por lo que se consideró suficiente para cubrir toda la zona. Los cursos talleres tuvieron la finalidad motivar a los productores del área de estudio, para que adquieran una cultura sobre la conservación de suelo, y a mediano plazo ellos mismos tengan la capacidad de implementar los trabajos en sus unidades de producción.

Cuadro 4.14. Localidades donde se impartieron los cursos de capacitación

| Localidad | Fecha | Número de asistentes |
|---------------------|----------------------|-----------------------------|
| Escuadrón 201 No. 1 | 3 de junio de 2005 | 35 |
| Francisco Villa | 24 de agosto 2005 | 25 |
| Escuadrón 201 | 10 de noviembre 2005 | 18 |
| Anacuas No. 2 | 16 de junio 2006 | 8 |

Los temas que se consideraron fueron. El efecto de la erosión en la producción agropecuaria, factores que intervienen en su desarrollo, la influencia del hombre y los métodos de control, como complemento se hicieron prácticas de campo demostrativas en cuanto a la construcción de las represas.

Como primer punto se dio una explicación general con respecto a las condiciones estatales, y nacionales del fenómeno de la erosión, las causas naturales y las provocadas por el hombre para alterar las condiciones normales del suelo, siendo esto el factor más importante para que las diferentes actividades económicas que se dan dentro del uso del suelo. Posteriormente En el aspecto teórico, se describieron las formas de control de la erosión con las presas que construyeron en el proyecto y de otros tipos como: de piedras, ramas, costales, mampostería y postes se explicó la dimensión que deben tener las estructuras, como es la excavación del cimiento para crear más resistencia, los tipos de presas, materiales que se usan, como son; tela, ciclónica, madera, la protección de ramas, para disminuir el efecto de la carga hidráulica, del flujo de agua, el espaciamiento entre represas, además de la necesidad de darles mantenimiento, y reforzamiento, para su conservación. Se realizaron prácticas para la construcción de una presa filtrante donde los mismos productores, la construyeron, esto con la finalidad de que en un futuro ellos mismos tengan el conocimiento técnico como construir las en su propio predio y darle solución al problema de la erosión hídrica.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Con base a los objetivos planteados del presente proyecto y los resultados obtenidos se tienen las siguientes conclusiones y recomendaciones.

5.1 Conclusiones.

- 1) La construcción de represas de malla ciclónica y madera es una opción en la restauración de suelos, principalmente en aquellos sitios donde las cárcavas no presentan profundidades mayores de un metro.
- 2) Existe una interacción de la erosión hídrica, entre las obras que está realizando PEMEX en la Cuenca de Burgos y otros usos del suelo, siendo los pastos inducidos, los que tienen menor efecto negativo en la erosión de suelos, en segundo lugar la vegetación natural y por último las actividades agrícolas.
- 3) Debido a las condiciones climáticas de la zona, como es la presencia de lluvias de alta intensidad en un intervalo de tiempo reducido y largos periodos de sequía, la reforestación tuvo un 30 % de sobrevivencia, siendo este valor permisible para esas condiciones.
- 4) En cuanto a los cursos de capacitación que se impartieron, se cubrió toda la zona, considerándolos como suficiente para que los productores tuvieran conocimientos generales sobre la restauración de suelos.

5.2 Recomendaciones

- 1) Fomentar la construcción de represas de malla con madera, mediante la difusión de programas de conservación de suelos, y al mismo tiempo considerar un cambio en su uso.

- 2) Establecer un programa a mediano y largo plazo en el control y monitoreo de la erosión en la cuenca de Burgos.
- 3) Implementar la reforestación de manera permanente en la zona, principalmente en aquellas áreas donde se realicen obras para la extracción de gas
- 4) Continuar con los esfuerzos de capacitación a productores en la conservación de los recursos naturales, mediante una perspectiva no solo de conservar al ambiente, si no que también en la integración de áreas restauradas a actividades económicas.

IV. BIBLIOGRAFÍA.

- Anaya G. M., Martínez M. M. R., Trueba C. A., Figueroa S. B y Fernández M. O. 1982. Manual de Conservación del suelo y del agua. Colegio de Posgraduados. Chapingo, México.
- Bradford J.M y Foster G.R. 1996. Interrill soil erosion and slope steepness factors. Soil Science Society Of America Journal 60 (3): 909-915.
- Chaplot V A.M., y Bissonnais Y.L., 2000 Field measurements of interrill erosion under different slopes and plot sizes. Earth Surface Processes And Landforms 25 (2): 145-153.
- Chaplot V.A.M. y Bissonnais Y. L., 2003. Runoff Features for Interrill Erosion at Different Rainfall Intensities, Slope Lengths, and Gradients in an Agricultural Loessial Hillslope. Soil Sci. Soc. Am. J. 67:844–851.
- Comisión Nacional del Agua. 1996. Programa Hidráulico de Gran Visión. Gerencia Regional. Tamaulipas, México.
- CONAFOR, 2004. Protección restauración y conservación de suelos forestales. Manual de obras y practicas SEMARNAT. Mexico D.F.
- CONAFOR, 2003. Informe técnico de actividades. Cd. Victoria Tam.
- Doran, J. W. y T. B. Parkin 1994. Defining and assessing soil quality. Pp. 3-21 en: Doran, J. W., D. C. Coleman, D. C. Bezdicek y B. A. Stewart (eds.). Defining and assessing soil quality for sustainable environment. Soil Science Society of America. Special Publication 35. Madison, Wisconsin.
- FAO, 1998. Manual de prácticas integradas de manejo y conservación de suelos. Roma Italia
- FAO, 1984. Metodología provisional para la evaluación y la representación cartográfica de la desertificación. Roma, Italia.
- Fox D.M., y Bryan R.B. 2000. The relationship of soil loss by interrill erosion to slope gradient. CATENA 38 (3): 211-222
- Grosh J.L., y Jarrett A.R. 1994. Interrill Erosion And Runoff On Very Steep Slopes. Transactions of the ASAE 37 (4): 1127-1133 JUL-AUG 1994
- Hanson D.L., Steenhuis T.S, Walter M. F., y Boll J. 2004. Effects of soil degradation and management practices on the surface water dynamics in the Talgua River Watershed in Honduras. Land Degradation & Development 15 (4): 367-381.

- Instituto Nacional de Estadística e Geografía e Informática. 2001. XII Censo General de Población y Vivienda, 2000. Aguascalientes, Mexico.
- Instituto Nacional de Estadística e Geografía e Informática. 1983. Síntesis Geográfica de Tamaulipas. México D.F
- Jordan, W. R. 1983. "Whole plant response to water deficits: an overview". Pp. 289-317 en: H. M. Taylor, W. R. Jordan y T. R. Sinclair (eds.) Limitation to efficient water use in crop production. American Society of Agronomy, Crop Science Society of America and Soil Science Society of America. Madison, Wisconsin.
- Oldeman, L. R. 1988. Guidelines for general assessment of the status of human-induced soil degradation. Working paper 88/4. International Soil Reference and Information Centre (ISRIC), Wageningen, 151p.
- Rodríguez, R. H. y Espinosa, R. M., 2006. Informe técnico final del proyecto Manejo de agua y preservación de suelos.
- Rodríguez, V. J. 1990. México y su agricultura. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.
- Rodríguez R. H., Wilver S., Vargas T.V. 2003. Evaluación y estimación de áreas de afectación de las actividades de exploración y producción de las actividades de PEMEX, en el activo "Burgos".
- Ramírez C. M. E., y Oropeza M. J. L., 2001. Eficiencia de dos prácticas productivo-conservacionistas para controlar erosión de laderas en el trópico. Agrociencia 35: 489-495.

Personal Técnico Participante

Dr. Hector Rodriguez Rodrigues
Responsable del proyecto

Ing. Américo Rendón Duñez
Técnico de campo

Ing. Félix de la Cruz Salazar
Técnico de campo

Lic. Jesus Alejandro Campos Flores
Área de cartografía

ANEXO

MEZQUITE

| Contenido | Página |
|--|--------|
| I. INTRODUCCIÓN | 1 |
| Objetivo | 2 |
| II. ANTECEDENTES | 3 |
| 2.1. Descripción. | 3 |
| 2.2. Importancia ecológica. | 4 |
| 2.3. Problemática de la zona de estudio..... | 6 |
| III. USOS DEL MEZQUITE | 9 |
| 3.1. Forraje para ganado..... | 9 |
| 3.2 Producción de goma de mezquite | 10 |
| 3.3. Maderable. | 11 |
| 3.4. Elaboración de cosméticos..... | 12 |
| 3.5. Elaboración de Carbón. | 13 |
| 3.5.1. Método de la fosa. | 14 |
| 3.5.2. Método de la parva. | 15 |
| 3.5.3. Rendimiento de madera a carbón | 18 |
| 3.6. Conclusiones..... | 18 |
| IV. BIBLIOGRAFÍA | 19 |

I. INTRODUCCIÓN.

Los recursos forestales en forma natural, desempeñan diversas funciones como la regulación de la captación, almacenamiento, infiltración y emisión de agua. Asimismo, regulan los procesos de evaporación y transpiración. Conservan los suelos por la interceptación y reflexión de las radiaciones solares, de la precipitación pluvial y de la acción de los vientos, aportan materia orgánica, contribuyen a la formación de suelos por procesos físicos y químicos, además modifican la estructura de los mismos, mejorando las propiedades del terreno para sustentar la vegetación. La cubierta forestal constituye el hábitat de la fauna silvestre, cuya relación es compleja e indivisible, por ejemplo, muchas de las especies vegetales dependen de la fauna para su polinización, dispersión y germinación.

En la actualidad en la cuenca de Burgos se tiene un programa de exploración y explotación de gas, lo que ha originado un deforestación de especies forestales como es el caso del Mezquite (*Prosopis glandulosa* Torr.), el cual se encuentra distribuido en esta área, en zonas de mezquitales o en combinación con otras especies, como es el caso del matorral espinoso Tamaulipeco, y como consecuencia de las obras está siendo removido creando un problema ambiental, en la degradación de los suelos a través de la erosión. La vegetación forestal asociada a las actividades agropecuarias, contribuye a crear zonas de abrigo a los campos, reducir la erosión eólica, aumentar la retención de humedad en el subsuelo, proteger el suelo y con ello contribuir a elevar la producción agrícola y ganadera. Asimismo, esta vegetación puede proporcionar forraje para el ganado, abono para el suelo, materiales para construcción y leña, debidos a esos múltiples usos a la poca exigencia de suelos, baja demanda de agua y por consiguiente su gran importancia ecológica es necesario su conservación y reproducción.

Por lo que es necesario mantener la cubierta vegetal, si bien es cierto que se realizan algunas actividades que la destruyen, también existen los métodos para repoblarla, recuperando áreas degradadas e incrementando la frontera de la cubierta vegetal,

para la recuperación de áreas degradadas a través de la reforestación con fines de protección. Particularmente, el caso del árbol de *mezquite*, y sus beneficios que lo convierten en uno de los principales recursos naturales para los habitantes de la cuenca de Burgos; ya que potencialmente puede ser aprovechado para actividades humanas y económicas; las vainas pueden ser consumidas ya sean frescas, maduras o secas, también es posible obtener leña, forrajes, carbón, material de vivienda, postes para cercos. Sin embargo, su densidad poblacional se ha visto disminuida severamente como consecuencia de la deforestación por lo que, resulta conveniente pensar en su propagación a fin de contar con alternativas económicas complementarias, a la vez que se previene el deterioro de los suelos.

Este trabajo tiene como objetivo hacer una plantear la problemática del árbol de Mezquite, (*Prosopis glandulosa* Torr.), establecer sus medidas de conservación y de uso

II. ANTECEDENTES

Las especies de este género, conocidos como mezquite, tienen una amplia distribución geográfica formando parte de varios tipos de ecosistemas en climas áridos y semiáridos, en los que llega a ser la especie dominante de estos. Esta amplia distribución, desde el punto de vista de diversidad genética, representa una gran riqueza para el país. Por sus funciones en relación a los ecosistemas de zonas áridas es prioritario iniciar acciones encaminadas a su conservación y fomento. Es urgente proteger este grupo de especies de su virtual desaparición ya no solo por las presiones agropecuarias y demográficas, sino por la terrible amenaza de los que comercializan esta especie para fines maderables y de combustión.

2.1. Descripción.

Familia: Fabaceae (leguminosae)

Nombre común: mezquite.

Nombre científico (*Prosopis glandulosa* Torr.)

Son árboles pequeños o arbustos espinosos, con frecuencia formando matorrales densos, con una ancha copa extendida. Hojas ramificadas con un par de pinnas, cada una con 7 a 18 pares de folíolos, los folíolos uniformemente anchos, de 1 a 5 cm de largo, de 2 a 4 cm de ancho, lisos, flores amarillas, dispuestas en espigas florales. Los frutos son largos, estrechos, rectos, redondeados, 10-25 cm (4-10) de largo, 6-9 mm (0.2-0.3) de diámetro; semillas constreñidas y brillantes. En la cuenca de Burgos se pueden encontrar árboles hasta 8 m de altura (Figura 1).



Figura 1. Árbol de mezquite con una altura aproximada de 6 m, localizado en el Ejido Anacuas No. 2, del municipio de Reynosa Tam.

2.2. Importancia ecológica.

Es una planta de gran importancia por las funciones que desarrolla, en el medio ambiente, juega un papel como planta fijadora de nitrógeno, enriquece el suelo a su alrededor, promueve el crecimiento de matorrales asociados a ella y por tanto previene la erosión del suelo; actúa como planta nodriza de numerosas especies de aves y roedores (CONAZA, 1994). Se emplea en la obtención de; madera, leña, carbón, miel; sus frutos (vainas) se utilizan en la elaboración de alimentos para consumo humano y forraje. En escala pequeña se aprovecha la goma de su corteza. Si bien la utilización de la madera de mezquite para la elaboración de parquet, muebles, leña y carbón, representan una importante actividad económica en numerosas comunidades rurales, la tala indiscriminada, ha resultado en una severa deforestación de este recurso. En contraste, el aprovechamiento de productos no maderables de alto valor, tales como vainas, miel y goma, constituyen alternativas económicas más acordes con el concepto

de desarrollo sostenible. Otro aspecto de importancia es el impacto positivo que tiene sobre el ecosistema como cerco vivo. Funciona como sombra y refugio para la fauna silvestre y doméstica, además es una eficaz fuente de alimento y de un microambiente característico bajo su cubierta foliar, que influye sobre la diversidad y abundancia de mamíferos, aves y otras plantas con las que se encuentra asociada como la *Yucca sp*, con el nopal (*Opuntia lindheimeri*) y el huizache (*Acacia farnesiana*) entre otras (Figuras 2 y 3).



Figura 2. *Prosopis glandulosa* y *Acacia farnesiana*



Figura 3. Características que presenta el *Prosopis glandulosa* asociado con el matorral Espinoso Tamaulipeco. *Acacia farnesiana*, *Acacia rigidula*, *Celtis pallida*, *Guaicum angustifolia*, *Diospyros palmeri*, *Randia obcordata*, *Pithecellobium ebano*.

2.3. Problemática de la zona de estudio.

Las obras de apertura de brechas, gasoductos, pozos, estaciones de remboqueo, han arrasado con grandes volúmenes de árboles maderables y no maderables removiendo la vegetación nativa compuesta por matorral espinoso tamaulipeco y selva baja espinosa, así como grandes extensiones de mezquitales ecosistemas importantes dentro de la cadena alimenticia de la fauna silvestre que abunda en esos lugares.

En el año 2003 se realizó una evaluación de la remoción de la vegetación donde se aplicó una metodología basada en; 1) La estimación general de las áreas de uso de suelo y vegetación en las zonas de aprovechamiento de PEMEX a partir de la extracción de información de la cartografía del Inventario Nacional Forestal escala 1:250,000, del año 2000-2001, estimando una muestra de la población de obras por uso de suelo y tipo de vegetación. 2) Muestreo estadístico estratificado con base en la proporción de obras de acuerdo al uso y tipo de vegetación. 3) recorridos de campo para la verificación de los sitios de muestreo definidos aleatoriamente, con base en sus coordenadas y 4) Ubicación de los sitios de muestreo escala 1:50,000 y su sobreposición en imágenes de satélite LANDSAT ETM del año 2001-2002. (Universidad Autónoma de Tamaulipas, 2003)

Tomando los coeficientes en $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ obtenidos de los muestreos de campo para las clases del Inventario Forestal Nacional definidas para la estimación de la afectación maderable de las obras de PEMEX, se hicieron las diversas evaluaciones las cuales se muestran en el cuadro 1.

Cuadro 1. Resultados de la evaluación de años 2001 y 2002 en cuanto a la remoción de mezquite en la cuenca de Burgos.

| Tipos de vegetación | Superficie afectada, ha (1) | Volumen, m ³ ha ⁻¹ R.T.A | Volumen total, m ³ R. T. A. |
|--|-----------------------------|--|--|
| 2001 | | | |
| Pozos | | | |
| Mezquital (incluye huizachal) | 53.00 | 48.33 | 2561.49 |
| Mezquital (incluye huizachal) con vegetación secundaria | 1.00 | 24.46 | 24.46 |
| Estaciones de Bombeo | | | |
| Mezquital (incluye huizachal) | 1.00 | 48.33 | 48.33 |
| Gasoductos | | | |
| Mezquital (incluye huizachal) | 15.82 | 48.33 | 764.4 |
| Mezquital (incluye huizachal) con vegetación secundaria | 11.56 | 24.46 | 282.76 |
| Subtotal | 82.38 | 193.91 | 3681.44 |
| 2002 | | | |
| Pozos | | | |
| Mezquital (incluye huizachal) | 21.00 | 48.33 | 1014.93 |
| Mezquital (incluye huizachal) con vegetación secundaria | 5.00 | 24.46 | 122.30 |
| Gasoductos | | | |
| Mezquital (incluye huizachal) | 24.24 | 48.33 | 1171.67 |
| Mezquital (incluye huizachal) con vegetación secundaria | 0.35 | 24.46 | 8.62 |
| Subtotal | 50.59 | 145.58 | 2317.52 |
| Total | 132.97 | 339.49 | 5998.96 |
| 1: datos proporcionados por PEMEX. RTA-Rollo total árbol | | | |

Los resultados globales de las estimaciones de afectación obtenidos para la infraestructura de explotación de gas para los años 2001 y 2002 de PEMEX, fue de 9117.21 m³ de volumen maderable, de los cuales el 65.8% equivale a Mezquite y huizachal.

Otra de las situaciones que se presenta en la zona de estudio es el cambio de uso de suelo, a pastizales, donde de acuerdo a pláticas con los productores, no se tiene un programa adecuado para llevarlo, en este caso se lleva el corte de árboles para la generación de carbón, sin algún control, ya que de manera ilegal en algunas comunidades se lleva a cabo, como es el caso de Francisco Villa, y Tlaxcala de Xicotencatl.

La remoción de la vegetación natural ha provocado que la erosión eólica e hídrica se acelere, provocando pérdidas de suelo, de acuerdo con evaluaciones realizadas la pérdida de suelo por erosión eólica en el DTT 010 es de $25 \text{ t ha}^{-1}\text{año}^{-1}$, (Espinosa, 2006) y en la erosión hídrica en cárcavas se pueden tener valores de 30 t ha^{-1} .

III. USOS DEL MEZQUITE

3.1. Forraje para ganado

Gonzalez, et al (1989) citan que el mezquite *Prosopis* spp., es una leguminosa distribuida en las zonas áridas y semiáridas de la República Mexicana. este recurso vegetal tiene diversas aplicaciones; sin embargo, el uso de su fruto (vaina), en una mínima proporción como material forrajero de bajo valor biológico, permanece restringido. En este trabajo, se obtuvo biomasa fungal utilizando vaina de mezquite pulverizada como sustrato fundamental en un proceso fermentativo en estado sólido, para su caracterización bromatológica y eventual utilización como ingrediente enriquecido en dietas para el consumo animal. Los ensayos fermentativos preliminares a nivel caja de Petri, se realizaron con tres hongos microscópicos: *Aspergillus niger*, *Pleurotus ostreatus* y *Trichoderma viride*. A las 72 horas de proceso, *A. niger* exhibió un mejor rendimiento en la producción de biomasa tomando como parámetro un incremento en proteína verdadera del 37% y una disminución de fibra cruda del 35%, con respecto al sustrato original, al usar las relaciones C/N = 5.0 y C/P = 150. Al escalar el proceso a nivel de pequeños reactores tubulares empacados a régimen estacionario, *A. niger*, incrementó la producción de biomasa dando un 75% de proteína verdadera, cuando los principales parámetros de operación fueron: pH inicial = 3.0, tiempo = 72 horas, temperatura = 32°C., aireación = 3 vvm (volumen de sólido empacado / minuto), tamaño de partícula retenido en malla 50. Se comprobó, mediante análisis "in vitro", que el producto fermentado estaba libre de aflatoxinas. Mediante este desarrollo fermentativo, se fomenta la utilización de la flora en pie protegiendo a la ecología, se promueve la siembra y preservación de esta importante leguminosa, contribuyendo a evitar el avance de la desertificación.

La vaina utilizada como alimento para diversos tipos de ganado. En forma de harina tiene gran demanda para la ganadería estabulada o semi estabulada con razas lecheras o de engorda como Herford, Angus, Aberdeen y criollos, también se

suministra a otros tipos de ganado, como al porcino y al caprino y, con menor intensidad al caballar, asnal y mular. Si el aprovechamiento es por medio de la recolección manual, que se lleva a cabo en los meses de julio a septiembre. Es una actividad familiar que contribuye a atenuar la precaria situación de estos campesinos, ocasionada por las pérdidas agrícolas resultantes de las sequías prolongadas, que suelen acabar con los cultivos temporaleros y los forrajes de los agostaderos. Se estima que una familia puede recolectar de 200 a 250 kg diarios de vaina (CONAZA. 1994).

Aunque el principal valor del mezquite como forraje radica en el fruto es frecuente que el ganado no estabulado practique el ramoneo, que consiste en el consumo de hojas y brotes tiernos del mezquite: además los mezquites proporcionan sombra, que es muy importante en estas regiones debido a las elevadas temperaturas que se registran durante el día.

3.2 Producción de goma de mezquite

Una posibilidad como sustituto de la goma arábica, es la goma de mezquite que es un recurso que no se aprovecha. Esto sucede aún cuando la industrialización de la goma de mezquite, al ser un producto renovable, ampliamente disponible en zonas áridas del país, tendría beneficios directos a las zonas rurales de estas regiones, ya que serían las proveedoras de la materia prima, permitiría ofrecer un sustituto de goma arábica, a precios competitivos que resultarían en ahorro y reinversión de capital para las empresas usuarias. Algunas de las barreras técnicas y económicas que deben vencerse antes de que la goma de mezquite sea aprovechada a nivel industrial incluyen la autorización para obtener el estatus GRAS por parte del FDA en EEUU para uso en alimentos, el aseguramiento de la producción y la instrumentación de criterios de calidad y de clasificación que permitan elaborar un sistema de precios. Estos aspectos se discuten en mayor detalle más adelante (Lopez *et al*, 2006).

La disponibilidad de goma de mezquite en cantidades suficientes para asegurar una producción que pueda satisfacer la demanda actual y competir por el mercado de la goma arábica, es el principal obstáculo a fin de poder impulsar la inversión de capital en esta actividad. En los estados mexicanos de Sonora y San Luis Potosí se han llevado a cabo estudios cuantitativos para estimar la disponibilidad de goma de mezquite, en poblaciones silvestres. Sonora, en el noroeste de México, tiene una extensión de 184934 km², con el 70% de superficie desértica y semidesértica. Los mezquiales están distribuidos en casi todo el estado. Sin embargo, las masas arboladas de mezquite como especie dominante, y con potencial de aprovechamiento, se encuentran en bajíos y áreas ribereñas principalmente, aunque en algunas planicies se aprecian poblaciones importantes de mezquite en asociación con otras especies (CONAFOR, 2002). En 1999 se evaluó la disponibilidad de la goma de mezquite de *P. velutina* en cuatro poblaciones silvestres de la zona central del estado, con una densidad de árboles de 801/ha. De éstos, solo el 10% produjeron goma, por lo que se estimó un rendimiento de 23,2 g de goma por árbol, lo que resulta en una disponibilidad de 132 a 240 g de goma por hectárea (Goycoolea *et al.*, 2000). El tiempo de producción es de 5 semanas, en las que es posible coleccionar hasta tres veces. Estas cifras han permitido estimar una producción total de goma de 800 ton/año.

3.3. Maderable.

Su madera es dura, resistente, con un buen brillo al pulirla aunque algo quebradiza y poco flexible, lo que limita su uso comercial, se utiliza en la elaboración de muebles artesanales, destacando los trabajos de marquetería elaborados en Zacatecas, Morelos, Guerrero, Guanajuato y Puebla. Su dureza lo hace ideal para esta actividad y le permite ser empleada en la elaboración de otros artefactos resistentes, como durmientes, duela, hormas para zapatos, mangos de herramientas y utensilios de cocina, además de utilizarse para la construcción las zonas rurales y posteria para cercos (Gómez *et al.*, 1970). Se procesa en forma de brazuelos, tablas y tablones, postes para cerca, trozas en rollo, entre otros.

El color es variable en una sola pieza se pueden tener tres colores y tipos de fibra distintos, la albura mas externa es de un color amarillo limón, la mas cercana al duramen es de un color marrón claro y el duramen es de un color marrón rojizo. Es un árbol espinoso que la mayoría de los productores desea eliminar de sus campos pero que esconde una madera dura, muy y granulosa, de fibra. Difícil de trabajar debido a lo entrecruzado de sus fibras, pero se lija fácilmente y se pueden lograr buenos acabados, también presenta buen comportamiento al encolado. Es una madera muy estable en general, el mezquite se contrae solamente el 2% o menos durante el secado, aunque hay alguna variedad menos estabilidad con secados más irregulares. La durabilidad y la estabilidad de esta madera y la resistencia al envejecimiento la hacen ideal para la construcción de muebles.- Quien posea un mueble construido de esta madera, puede estar seguro que formará parte del mobiliario de su familia para muchas generaciones, pero no espere que dos piezas de el sean semejantes. Es muy apreciada en la fabricación de muebles rústicos; hormas para zapatos, duelas, mangos de herramientas, puertas, marcos de ventanas, parquet, cuadernas para barcos pequeños; también se ha empleado en la producción de artesanías como dominós, joyeros, platos, ajedreces, sillas, mesas y muebles para los relojes de pared.

La madera de mezquite tiene un peso específico de 0.76 y la de la raíz es aún más dura, debido a estas características, es usada para la manufactura de artefactos que necesitan ser muy resistente como muebles, parket, duela, hormas para zapatos, mangos de herramienta y utensilios de cocina, además es muy utilizada para la construcción en las zonas rurales (Signoret, 1970).

3.4. Elaboración de cosméticos

De acuerdo con Espinosa y Lina (2005), una de las perspectivas es la aplicación tecnológica en cosmética del aceite de semillas de mezquite, que bien podría incluirse como parte de una sustentabilidad del desarrollo de esta especie forestal y de su entorno socio ambiental. Los mismos autores desarrollaron un proyecto sobre la aplicación en cosmética del aceite de semillas de mezquite. Estableciendo como

objetivo evaluar la utilidad cosmética del aceite de semillas de mezquite, en base a cinco aspectos: 1) Características físicas y químicas, 2) Composición de ácidos grasos, 3) Características toxicológicas, 4) Facilidad de formular diferentes productos cosméticos que lo incluyan en su composición y 5) Con los resultados obtenidos realizar pruebas de aplicación de formulaciones que incluyan este aceite.

Los resultados obtenidos en la identificación de la composición de ácidos grasos y características propias del aceite, se desarrollaron formulaciones que desde el punto de vista teórico, cumplen unas con finalidades emolientes y otras como protectores solares estabilizándolas y realizando los controles establecidos en un grupo de 20 voluntarios femeninos, que presentaban características de una piel seca. De acuerdo con las características establecidas, se desarrollaron fórmulas cosméticas que cumplen con finalidades emolientes y/o protectores solares, y que incluyen aceite de semilla de Mesquite (*Prosopis*) en su formulación. Las pruebas realizadas en humanos, confirman la inocuidad de los productos analizados. En ningún voluntario se presentó irritación, ni eritema en la piel donde se aplicó. En el grupo en que se utilizó como muestras, las fórmulas M1 (14% de aceite de semilla de mezquite) y M3 (sin ningún tipo de aceite); el 90% de los voluntarios incluidos en el estudio, indicó observar con el producto M1 mayor suavidad en la textura de la piel. Los resultados preliminares, obtenidos utilizando estadística descriptiva; sirven de base para indicar la utilidad como emoliente del aceite de semilla de mezquite.

3.5. Elaboración de Carbón.

La utilización de la tierra como escudo contra el oxígeno y para aislar la madera que se carboniza contra una pérdida excesiva de calor, es el sistema más antiguo de carbonizar. Aún en la actualidad se usa para hacer quizás más carbón vegetal que por cualquier otro método. Hay dos modos de usar la barrera de tierra en la fabricación de carbón vegetal: una es la de excavar una fosa, rellenarla de madera y taparla con tierra escavada para aislar la cámara. La otra es de tapar un montículo o pila (parva) de madera sobre el suelo, con tierra, que viene a formar la barrera

aislante impermeable a los gases necesarios, detrás de la cual puede tener lugar la carbonización sin infiltraciones de aire, que haría quemar el carbón hasta reducirlo en cenizas. Ambos métodos (FAO, 1983).



Figura 4. Acumulación de trozos de tallos y ramas de mezquite para la elaboración de carbón vegetal. Ejido Francisco Villa, municipio de Reynosa Tam.

3.5.1. Método de la fosa.

Se necesita una capa de suelo profundo, depósitos adecuados de suelo donde se puedan hacer fosas muy grandes y donde un ciclo puede abarcar hasta tres meses para completarse. La inversión de capital es mínima; no se necesita nada más que excavar la fosa y la materia prima, pero es un método que puede desperdiciar los recursos. Una desventaja es el control de la circulación de los gases en la fosa. Mucha madera se quema quedando en cenizas, porque le llega demasiado aire. Otra parte queda sólo parcialmente carbonizada, ya que el quemado, nunca se calienta y

seca correctamente. A parte de las grandes variaciones en calidad, varían las sustancias volátiles, o sea el grado de carbonización para un carbón vegetal aceptable, porque la carbonización en una fosa comienza en una extremidad y progresa hacia la otra. De allí que el carbón del comienzo de la quema, habiendo sido calentado por más tiempo, tiene mucho menos sustancias volátiles que el carbón del otro extremo. Para fines domésticos, no resulta ser un problema serio, si bien reduce el rendimiento global, puesto que el carbón vegetal "duro", o sobrequemado en la punta de la ignición, con menos volátiles, elevado contenido final de carbono, implica un rendimiento bajo (teóricamente alrededor del 30%). La quema excesiva en un extremo es inevitable para poder quemar la carga completa.

3.5.2. Método de la parva.

Alternativa que en consiste en excavar una fosa donde se apila la madera sobre el suelo y cubrir la parva con tierra. Este también es un método antiguo y se usa en muchos países, encontrándose con muchas variaciones al método fundamental. En algunos países se han realizado estudios para mejorar su diseño al máximo. Esencialmente, el proceso es el mismo del de la fosa: la madera que debe ser carbonizada se encierra dentro de un involucro, cámara, impermeable al aire, hecho con tierra, que es un material accesible en cualquier parte donde crece la madera, es también más práctica en zonas agrícolas, donde las fuentes de leña pueden hallarse dispersas. Se adapta a la producción esporádica en pequeña escala de carbón vegetal y para la producción en gran escala.

El volumen del apilado es generalmente de 5-8 metros cúbicos. El montón acabado viene luego sellado detrás de paredes de tierra hechas comprimiendo la tierra entre la madera apilada cubierta con hojas y una pared de sostén de varas o de tablas, retenidas con estacas. Se cubre la cabecera de la pila con hojas y con tierra, como en los sistemas de carboneras de fosa. Se deja una apertura en la pared lateral para iniciar la quema, y cuando este fuego ha prendido bien, se cierra la pared en la misma manera con tierra y con tablas. Se abren entradas de aire en la base de la parva y se usan para controlar el ritmo de combustión.



Figura 5. Parva o chavete para la elaboración de pequeños volúmenes de carbón en el ejido Francisco Villa, municipio de Reynosa Tam.

Cuando es a mayor escala, se usan equipos de remoción de tierra, como son los buldozer haciendo rodar y amontonar troncos grandes en una excavación no profunda. Se desparrama follaje sobre la pila y se empuja la tierra con el buldozer sobre el cúmulo para tapar la leña. El fuego se enciende en uno o más puntos, y cuando está quemando bien, se sellan con tierra. El método da buenos resultados cuando no se producen infiltraciones de aire en la envoltura. Cuando las filtraciones de aire no son controladas el carbón se reduce a cenizas en algunas partes del montón antes que el resto haya sido carbonizado en forma correcta.

El problema de obtener y mantener, durante todo el período de quema, un sellado efectivo contra el aire, y una buena circulación, son los principales factores que limitan las dimensiones de los sistemas de fosa y parvas. Es difícil ubicar las infiltraciones sobre la cobertura y es difícil de repararlas en las fosas con parvas muy grandes. La típica parva para la quema de carbón vegetal del tipo es de alrededor de 4 metros de diámetro en la base y de 1 a 1,5 m de altura, en la base, se hacen

alrededor de seis a diez tomas de aire, y una apertura arriba, de alrededor de 20 cm de diámetro, permite la salida del humo durante la combustión todas las aperturas deben ser selladas con tierra cuando se ha concluido la quema, permitiendo el enfriamiento. El espesor de la cobertura variará según la lisura de la pila de madera, pero es típicamente de 10 - 20 cm, El revestimiento deberá ser revisado para sellar todas las rajaduras y controlar que queden abiertas las bocas de aire en la base del cúmulo. (Varela, 1979)

Localmente la producción de carbón se hace con este método donde los montículos de tierra se conocen regionalmente como "chavetes", el proceso comienza cuando se amontona los leños de mezquite en forma piramidal, en capas. A este montón de leña se le conoce como "mona". Una vez que se tienen apiladas entre una y tres toneladas de la materia prima, se procede a cubrirlas con zacate Boffel seco y posteriormente con la misma tierra que sobró de anteriores procesos. Antes de quedar totalmente cubierta la leña, se vierten carbones encendidos para que empiece la combustión. Cuando el fuego está vivo se cubre el "chavete" por completo y se le practican orificios laterales para que "respire". Por esos agujeros sale un humo blanco, señal de que la madera se está quemando en el interior del montículo y cuando sale un humo ligeramente azulado, después de diez días de combustión, es momento de retirar la tierra y sacar los troncos completamente carbonizados.

Para poder realizar esta actividad es necesario solicitar, a un prestador de servicios forestales, para realizar un estudio sobre la posibilidad de fabricar carbón, siendo ellos los que realicen las condiciones de la vegetación por explotar así como en que tiempos realizarla, para posteriormente presentar este documento ante autoridades de la SEMARNAT para que una vez revisado y con recorridos de campo para verificar sobre lo plasmado en el mismo, es cuando se da la autorización para la explotación solicitada.

3.5.3. Rendimiento de madera a carbón.

De acuerdo a las personas de las localidades que se dedican a elaborar carbón, comentan que el costo de cinco toneladas de madera para producirlo es de mil pesos, más el costo del corte, y transporte, por lo que se incrementan quinientos pesos para dar un total de \$1500.00. Según los mismos productores para producir una tonelada y media de carbón se requiere de cinco toneladas de madera muerta. Por otra parte los intermediarios compran el producto en el lugar de elaboración a \$2.50 el kilogramo y lo revenden a \$5.00 el kilogramo. En este sentido al estar organizados los productores, le puedan dar un valor agregado al producto como es el embolsado y etiquetado, por lo que podrían comercializarlo a un mejor precio, en primera instancia se tiene un mercado regional como son las ciudades de Reynosa, Río Bravo, Valle hermoso y Matamoros. Potencialmente a 200 km se localiza un centro de consumo importante como es la Cd., de Monterrey N.L.

3.6. Conclusiones

La cuenca de Burgos está sujeta a una gran presión por las actividades agropecuarias, como por la extracción de gas natural, lo que trae como consecuencia un proceso de deforestación principalmente del mezquite. A pesar de las bondades de regeneración natural que presenta ésta planta, es necesario establecer un programa de su uso, de manera ordenada, organizada y dentro del marco legal que rigen las instituciones y dependencias oficiales.

IV. BIBLIOGRAFÍA

- Espinosa A.H. y Lina. M. P. 2005, la sobreexplotación del mezquite y el deterioro de los ecosistemas. Instituto Politécnico Nacional. México D.F.
- CONAFOR, 2002. Diversificación productiva y aprovechamiento del mezquite (*Prosopis ssp.*). En el Estado de Sonora. Comisión Nacional Forestal, México., www.conafor.gob.mx.
- CONAZA, 1994. Plan de acción para combatir la desertificación en México. Comisión Nacional de las Zonas Áridas y SEDESOL, Saltillo Coah.
- FAO 1983 Métodos simples para fabricar carbón vegetal estudio FAO: montes 41, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma. Italia
- Gómez, F., J. Signoret, y M.C. Abuín. 1970. Mezquites y Huizaches. Algunos Aspectos de la Economía, Ecología y Taxonomía de los Géneros, *Prosopis* y *Acacia* en México. Instituto Mexicano de Recursos Naturales Renovables, A. C. México, D.F.
- González E.E., Ramírez M.V., Moreno T.R., y Álvarez J.C. 1989., Bioprocesamiento de la vaina de mezquite *Prosopis spp.*, para la producción de biomasa fangal. Revista Biotam Volumen 1, Numero 2. Cd. Victoria Tams.
- Goycoolea, F.M. Cardenas A. Hernandez G. Lizardi J. Álvarez G. Soto F.J. (2000). Polisacáridos aislados del mezquite y de otras plantas del desierto. II Sim. Int. Utilización y aprovechamiento de la Flora Silvestre de zonas Áridas. Universidad de Sonora. Hermosillo Sonora. México.
- Lopez F. F. L., Goycoolea, F.M. Valdez M.A. Calderón B.A.M. 2006. Goma de mezquite una alternativa de uso industrial. Interciencia. Vol 31, Número 003. Caracas Venezuela.
- Rodriguez, R. H. y Espinosa R.M. 2006. Manejo de agua y preservación de suelos en el Distrito de Temporal Tecnificado 010 San Fernando Tamaulipas. Informe técnico. Universidad Autónoma de Tamaulipas. Cd. Victoria Tams.
- Universidad Autónoma de Tamaulipas, Rodriguez R.H. Vargas T.V. Salinas W.E. 2003, Evaluación y Estimación de áreas de afectación de las actividades de exploración y producción de PEMEX en el activo Burgos. Cd. Victoria Tams.
- Varela, R.C. 1979. Charcoal Production. Logging and mechanical forest industries demonstration and training