

Agradecimientos

A dios por ser la guía de mis acciones y por brindarme la oportunidad de vivir la vida.

A mis padres por confiar en mi y apoyarme en todo momento.

A mi Alma, Terra, Mater por darme la oportunidad de conocer y entrar en el gran mundo de la agronomía.

A mis maestros que gracias a sus conocimientos trasmitidos moldearon en mi un profesionista.

Mención especial al M. C. Felipe Abencerraje Rodríguez y al Dr. Rubén López por todo el apoyo recibido para la culminación y presentación del trabajo.

A la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales por el apoyo otorgado para el desarrollo del trabajo, así como por la confianza depositada para colaborar en el Programa de Restauración Ecológica Texocuixpan.

A todos ellos Gracias

Dedicatoria

A mis padres que gracias a sus consejos y su apoyo logre uno de mis objetivos en la vida.

A mis hermanos y hermana por ser el ejemplo a seguir para lograr mis metas, así como por su apoyo incondicional durante mi formación, cada quien con su rol que le toco desempeñar para conmigo.

A mis sobrinos (as) con mucho cariño para todos ellos.

A las personas que hoy en día son el motor que me mueven para seguirme superando en mi vida personal y profesional, y que gracias a ellos hoy culmino una etapa importante en mi vida.... Claudia y Luis Enrique.

En memoria de los comuneros de la localidad de Texocuiapan, municipio de Ixtacamaxtitlán, Pue., que perdieron la vida durante el combate del incendio forestal en mayo de 1998, y que a raíz de ese suceso nace este trabajo.

ÍNDICE	Pág.
I. Antecedentes	5
II. Introducción	6
III. Objetivos	8
IV. Marco de Referencia	8
4.1. Extensión	8
4.2. Localización	8
V. Medio Físico	10
5.1. Clima	10
5.2. Suelos	11
5.3. Fisiografía	13
5.4. Geología	14
5.5. Hidrología	14
VI. Medio Biótico	16
6.1. Flora	16
6.2. Fauna	16
VII. Marco Social	17
7.1. Población	17
7.2. Vivienda	18
7.3. Educación	19
7.4. Salud	19
7.5. Servicios Públicos	19
7.6. Tenencia de la Tierra	19
VIII. Revisión Bibliográfica	20
8.1. Definición de Suelo y Tierra	20
8.2. Importancia del Suelo	20
8.3. Que es la Erosión	22
8.4. Causas de Degradación del Suelo	24
8.5. La Erosión Hídrica de Suelos en México y su Importancia	27
8.6. Determinación de las Prácticas para el Combate de la Erosión	30

8.7. Estrategias Biológicas	31
8.8. Estrategias Mecánicas	31
8.9. Espaciamiento de las Terrazas	33
8.10. Que son las Terrazas	35
IX. Desarrollo del Trabajo	37
9.1. Ubicación del Predio con Mayor Riesgo de Erosión, Posterior al Aprovechamiento del Arbolado Muerto por el Incendio	39
9.2. Cálculo del Espaciamiento Entre Terrazas	41
9.3. Construcción del Aparato A	42
9.4. Trazo de Curvas a Nivel	44
9.5. Construcción de Terrazas de Formación Sucesiva	45
9.6. Reforestación	48
9.7. Evaluación	49
Bibliografía	53

Índice de Figuras	Pág.
Figura 1. Aspecto del predio posterior al incendio forestal de copa	7
Figura 2. Localización	9
Figura 3. Área quemada en el contexto de la microcuenca	9
Figura 4. Mapa edafológico	12
Figura 5. Escurrimientos	15
Figura 6. Corte longitudinal del suelo	21
Figura 7. Zona erosionada en la región de Ixtacamaxtitlán Pue.	23
Figura 8. Perspectiva de la zona después de retirar el arbolado	25
Figura 9. Vista superior del sistema de terrazas	38
Figura 10. Detalle del suelo posterior al derribo del arbolado muerto	40
Figura 11. Trazo de línea madre	44
Figura 12. Trazo de curvas a nivel con el aparato "A"	45
Figura 13. Detalle de la construcción de terrazas de formación sucesiva con ramas	46
Figura 14. Detalle de la zanja y el bordo del sistema de terrazas de Formación sucesiva	47
Figura 15. Terraza de piedra acomodada	48
Figura 16. Acciones de reforestación	49
Figura 17. Vista de una terraza a dos años de su construcción	51

Índice de Cuadros	Pág.
Cuadro 1. Superficie afectada por el incendio	14
Cuadro 2. Avifauna existente en la zona del incendio	17
Cuadro 3. Pequeños mamíferos existentes en la zona del incendio	17
Cuadro 4. Reptiles encontrados de la zona del incendio	17
Cuadro 5. Número de habitantes por localidad del municipio de Ixtacamaxtitlán, Pue.	18

Cuadro 6. Degradación de la tierra por provincia fisiográfica (porcentaje de la superficie de cada provincia)	29
Cuadro 7. Uso del suelo en México	30
Cuadro 8. Efecto de las prácticas biológicas de conservación en el desprendimiento y transporte de las partículas del suelo	32
Cuadro 9. Efecto de las prácticas mecánica de conservación en el desprendimiento y transporte de las partículas del suelo	32
Cuadro 10. Distancia entre terrazas	34
Cuadro 11. Valores de la densidad aparente de varios suelos de diferentes texturas	50

MANEJO DEL SUELO EN LA ZONA DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA TEXOCUIXPAN, MUNICIPIO DE IXTACAMAXTITLÁN, PUEBLA

I. ANTECEDENTES

Los fenómenos meteorológicos que se presentaron en la mayor parte del país durante los primeros meses de 1998, originaron condiciones climáticas atípicas que se expresaron en un invierno corto, con elevadas temperaturas, niveles muy bajos de humedad y una temporada de estiaje prolongada con intensa sequía y elevadas temperaturas que incluso han alcanzado niveles históricos en el país.

Aunado a lo anterior, la gran cantidad de quemas en las actividades agrícolas utilizadas no sólo para la preparación de terrenos para la agricultura, sino también como medio para la ampliación ilegal de la frontera agrícola y pecuaria, y las conductas negligentes en el manejo del fuego con fines domésticos y recreativos, fueron factores determinantes en la incidencia de gran número de incendios forestales que rebasaron los registros de años anteriores.

En el estado de Puebla se presentaron durante 1998, 544 incendios, que afectaron una superficie de 19,835 Ha, de las cuales 5,225 corresponden a superficie arbolada y el resto a matorrales y pastizales

Con el fin de evitar el cambio de uso del suelo en áreas afectadas por incendios forestales, así como de asegurar la restauración de áreas donde la biodiversidad se ha visto seriamente afectada y en base a lo que establece la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, en su artículo 78 Bis, que a la letra dice “en aquellos casos en que se estén produciendo procesos acelerados de desertificación o degradación que impliquen la pérdida de recursos de muy difícil regeneración, recuperación, restablecimiento o afectaciones irreversibles a los ecosistemas o sus elementos, la Secretaría promovió ante el Ejecutivo Federal la

expedición de declaratorias para el establecimiento de Zonas de Restauración Ecológica”, dentro del marco de la **Campaña para la Restauración Ecológica y Contra el Cambio de Uso del Suelo en Zonas afectadas por Incendios Forestales**.

II. INTRODUCCIÓN

En Puebla, debido al fuerte incendio que se presentó durante el mes de mayo de 1998, en Texocuixpan, Municipio de Ixtacamaxitlán, ocasionando lamentables pérdidas humanas, graves afectaciones al suelo y al conjunto de elementos naturales vinculados al ecosistema forestal, a la importancia económica de los recursos forestales para los pobladores de la comunidad, así como al riesgo de Cambio de Uso del Suelo, se logró que el área boscosa de la comunidad de Texocuixpan, fuera declarada Zona de Restauración Ecológica, de acuerdo al Decreto publicado en el Diario Oficial de la Federación el día 23 de septiembre de 1998, por el que se declaran zonas de restauración ecológica, diversas superficies afectadas por incendios forestales en 1998.

El Programa de Restauración Ecológica contempla la conjunción de esfuerzos con los diferentes niveles de gobierno y diferentes sectores en las tareas de restauración y tendrá un período de vigencia de 12 años.

Asimismo se elaboró un Programa de Manejo Forestal Simplificado, para el aprovechamiento del arbolado muerto por el incendio, el cual contará con una vigencia de 10 años y su ejecución estará a cargo de siete pequeños propietarios y los comuneros de Texocuixpan. Además de llevar a cabo el aprovechamiento de arbolado muerto, el programa contempla la restauración ecológica del predio a través de plantaciones de especies nativas.



Figura 1. *Aspecto del predio posterior al incendio forestal de copa*

El incendio forestal de copa que se presentó en el mes de mayo de 1998 en los terrenos de Texocuixpan, afectó prácticamente a toda el área boscosa de la comunidad, ocasionando graves problemas al ecosistema.

Los resultados de este grave incidente fueron de distinta índole desde pérdida de 18 vidas humanas, hasta la pérdida casi total del estrato arbóreo del predio. Con la declaratoria de Zona de Restauración Ecológica se definieron las actividades a realizar para lograr el objetivo primordial, que es la recuperación del área siniestrada.

Actividades Realizadas:

- Aprovechamiento y remoción de arbolado afectado por incendio forestal
- Obras de protección y recuperación de suelos
- Reforestación de la zona siniestrada con especies nativas.

III. OBJETIVOS

El Programa de Restauración Ecológica tenía como objetivos:

- Asegurar la recuperación y restablecimiento de las condiciones que propicien la evolución y continuidad de los procesos naturales de restauración.
- Evitar el cambio de uso del suelo en el área afectada por el siniestro.
- Apoyar al mejoramiento de las condiciones de vida de la población, mediante la restauración del área afectada y la derrama económica derivada de la instrumentación del programa.

IV. MARCO DE REFERENCIA

4.1. Extensión

La superficie afectada por el incendio forestal de copa abarca una extensión de 153-61-22.6 Ha, de los Bienes Comunes de Texocuíxpan, municipio de Ixtacamaxtitlán, Estado de Puebla.

4.2. Localización

El predio se localiza en las coordenadas geográficas 19° 34' 10" y 19° 35' 49" de latitud Norte y 97° 49' 40" y 97° 51' 15" de longitud Oeste, referidas al meridiano de Greenwich; presenta un rango altitudinal de 2,700 a 3,100 msnm.

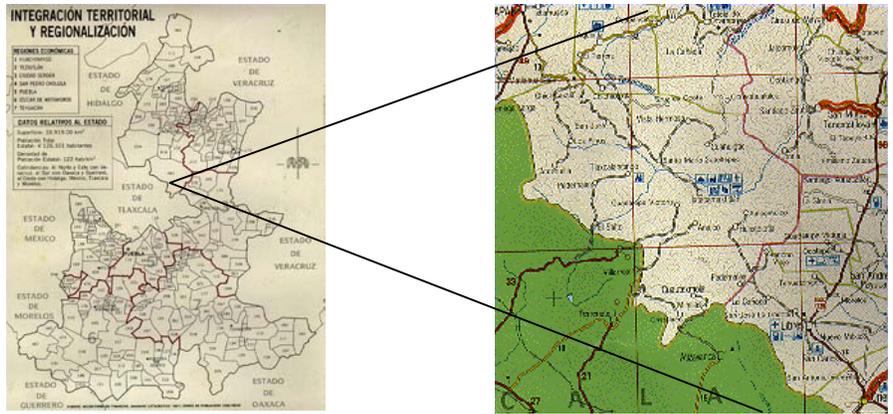


Figura 2. Localización

Los limites del predio son los siguientes:

- al Norte: Pequeñas propiedades de San Francisco Ixtacamaxtitlán
- al Sur: Pequeñas propiedades de Texocuíxpan
- al Este: Ejido Analco
- al Oeste: Pequeñas propiedades de Texocuíxpan

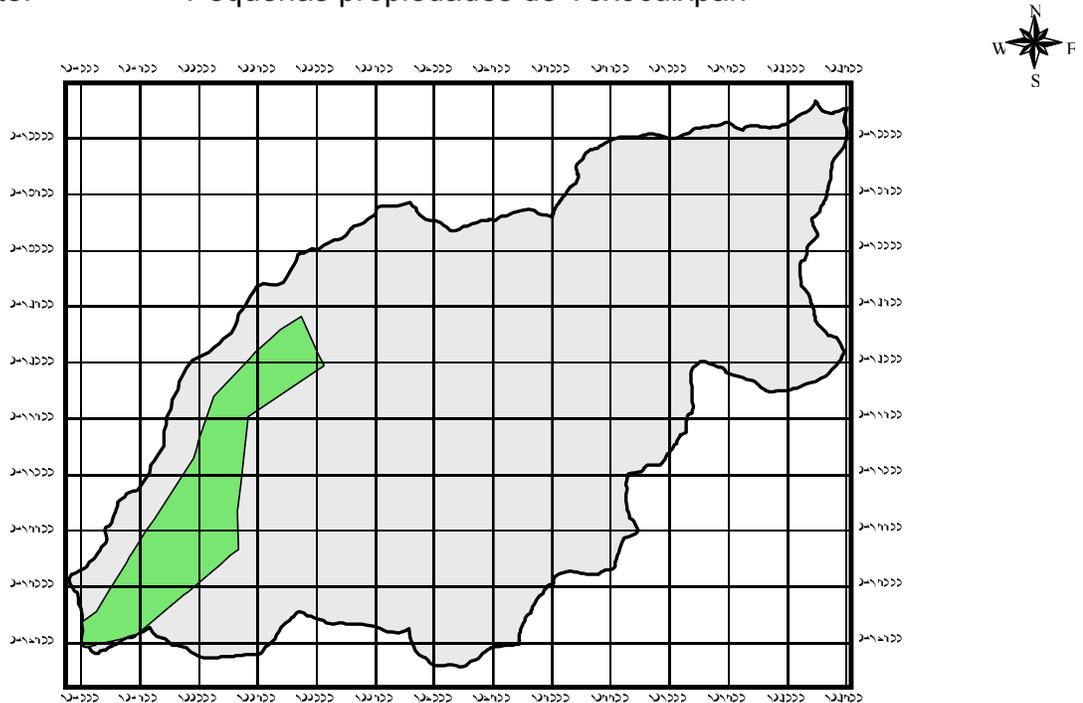


Figura 3. Área quemada en el contexto de la microcuenca

V. MEDIO FÍSICO

5.1. Clima

La estación meteorológica más cercana se encuentra ubicada en la Ciudad de Libres, Pue. El municipio se localiza en la zona de los climas templados de la Sierra Norte, y se identifican 3 climas:

- C(w1) (w): Clima templado subhúmedo con lluvias en verano; temperatura media anual entre 12° y 18° C temperatura del mes más frío entre -3 y 18° C; por ciento de precipitación invernal con respecto a la anual menor de 5.

Es el clima predominante; se localiza en el centro y norte del municipio. C(E) (w2): Clima semifrío subhúmedo con lluvias en verano; temperatura media anual entre 5 y 12° C temperatura del mes más frío entre -3 y 18° C; precipitación del mes más seco menor de 40 mm; por ciento precipitación invernal con respecto a la anual entre 5 y 10.2.

Se presenta en las partes altas de la sierra que cruza el sur y el poniente.

- C(w2): Clima templado subhúmedo con lluvias en verano; temperatura media anual entre 12 y 18° C; temperatura del mes más frío entre -3 y 18° C; precipitación del mes más seco menor de 40 mm; por ciento de precipitación invernal con respecto a la anual entre 5 y 10. 2.

Se presenta en una larga franja latitudinal, al norte de la sierra que se levanta al sur del municipio.

5.2. Suelos

En el marco de la microcuenca a la que pertenece el predio y de acuerdo con la carta edafológica de INEGI (1999), los suelos predominantes en la microcuenca de Texocuixpan en el rango de altitud de los 2900 a 2500 msnm predominan los suelos Regosoles (Imagen 4). Estos suelos son poco evolucionados en su perfil y constituyen la etapa inicial de formación de un gran número de suelos. Su formación es a partir de material no consolidado cuyo origen puede ser residual aluvial o coluvial, y son muy parecidos al material mineral del que se originan. No presentan horizontes de diagnóstico y su profundidad es variada dependiendo de la estabilidad de la pendiente; en sitios inclinados son someros y en sitios llanos son profundos (INEGI, 2000).

También se observa la presencia de Litosoles que son suelos extremadamente someros (menores de 10 cm), limitados en su profundidad por un estrato rocoso o tepetate. La escasa profundidad se debe con frecuencia a las condiciones topográficas de las zonas donde se desarrollan, pues las pendientes pronunciadas no permiten la acumulación de las partículas del suelo a medida que se forman.

Las condiciones climáticas y la vegetación no han tenido gran influencia en el intemperismo de las rocas subyacentes de las cuales se originan, por lo que están débilmente desarrollados y no tienen horizontes diagnósticos. Subyacente se encuentra roca madre dura y, algunas veces cenizas volcánicas consolidadas (tobas). La textura media domina en estos suelos y el drenaje depende de la naturaleza de la roca madre. El área de la microcuenca presenta procesos de erosión en diferentes intensidades (INEGI, 2000).

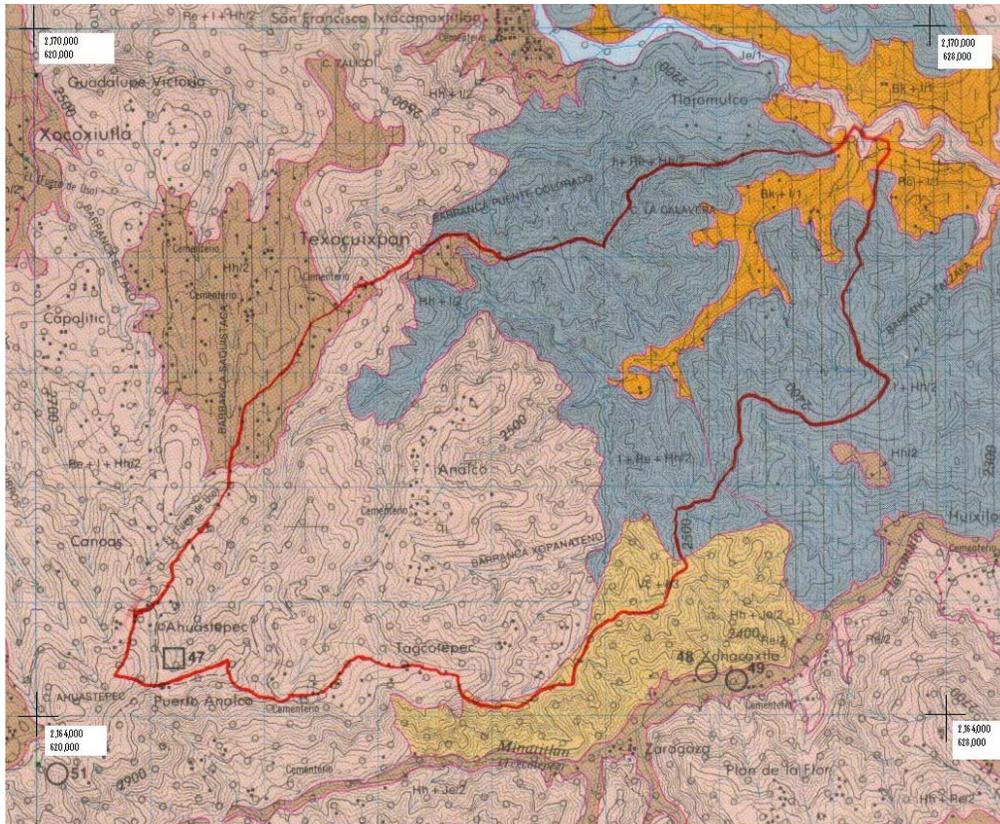


Figura 4. Mapa edafológico

INEGI, (1999), muestra en el rango de altitud de 2500 msnm y al sur este de la microcuenca una pequeña franja de suelos Vertisol. Sin embargo de acuerdo con las características generales de la microcuenca es poco probable que en la realidad se presente este tipo de suelos, ya que son suelos profundos con más del 30% de arcilla en su primer metro, se caracterizan por tener arcillas expandibles y en condiciones de suelo seco, generalmente se agrietan, son predominantemente de color negro. Por su alta fertilidad se dedican a la agricultura de riego y temporal.

Al centro de la microcuenca existe una pequeña franja de suelos Feozem, los cuales se caracterizan por presentar un horizonte superficial, por lo general mayor de 25 cm de espesor, enriquecido con materia orgánica (mayor de 1 %) y con buena fertilidad. Estos suelos están influidos en su formación por las características climáticas mismas que determinan la cobertura vegetal que favorece los procesos de formación de humus. La profundidad es variable desde 30 a 100 cm. La textura predominante

es la de migajón arcillo arenosa. Estos suelos presentan una alta fertilidad natural y pueden producir buenas cosechas. La erosión tanto por el viento como por el agua presenta un serio peligro para estos suelos. Tradicionalmente se han utilizado en la agricultura de temporal, algunos pastos inducidos y algún tipo de vegetación secundaria.

5.3. Fisiografía

El área se ubica en la provincia fisiográfica correspondiente al Eje Volcánico Transversal, caracterizado por ser un sistema montañoso no del todo continuo, que marca el extremo meridional de la Altiplanicie Mexicana y la separa la Depresión del Balsas. Esta provincia incluye las prominencias topográficas más altas de México, formadas por volcanes, como el Pico de Orizaba, el Popocatepetl, el Iztaccíhuatl, el Nevado de Toluca, La Malinche, etc.

La zona afectada abarca la porción alta y las laderas de una microcuenca exorreica formando una cañada con exposición N-E; y un sistema de lomeríos abruptos con pendientes que oscilan entre los 30 y 50 grados. El área en cuestión es denominada comúnmente por los pobladores como “La Cañada”.

Debido al fuerte incendio que se presentó en esta área, exceptuando puntos muy localizados, no existe cubierta vegetal propiamente dicha.

La superficie abarca una extensión de 153-61-22.6 Ha y puede ordenarse de la siguiente manera.

TIPOLOGÍA	SUPERFICIE (ha)
Superficie rocosa y con escasa vegetación	09-80-22
Superficie arbolada verde	12-49-30
Superficie agrícola	02-49-86
Superficie quemada	110-61-11
Superficie no arbolada (zona de matorrales)	18-20-73
Superficie total	153-61-22

Cuadro 1. Superficie afectada por el incendio

5.4. Geología

La formaciones geológicas predominantes en la zona son de tipo sedimentario, de estratificaciones de poco espesor y de color gris claro, con presencia localizada de tobas ácidas con textura merocrystalina piroclástica, con un contenido mineralógico integrado por plagioclasa sódica, fragmentos de roca hematizados, biotita, feldespatos potásicos, pirita, hematita y magnetita en una matriz vítrea, de color gris, con presencia de fracturamiento intenso.

5.5. Hidrología

El Municipio de Ixtacamaxtitlán pertenece a la vertiente hidrográfica septentrional del Estado de Puebla, formada por las distintas cuencas parciales de los ríos que desembocan en el Golfo de México, y que se caracteriza por sus ríos jóvenes e impetuosos, con una gran cantidad de caídas.

Pertenece a la cuenca del Tecolutla y es recorrido por numerosos ríos cuyo destino es el Apulco, caudaloso río que labra el valle intramontano que cruza el centro de oeste a este; el Apulco tiene un gran recorrido de más de 30 km. dentro del Municipio, y recibe gran cantidad de tributarios que a continuación se mencionan:

Los ríos Clanalá, El Tule, Alhuajoyuca, La Ciénaga, Las Vegas, Los Lobos, Los Hoyos y La Galera, que se originan al poniente y se unen finalmente al Apulco.

Los ríos Cotepalzoca, Hacienda Vieja y Tuligtic, que bañan el norte antes de unirse al Apulco. Por último, los ríos Minatitlán, Tepetzalán, Dos Aguas, Tlazontic e Itzamanca, que se originan al sur y después de recorrer el territorio de sur a norte se unen a Apulco.

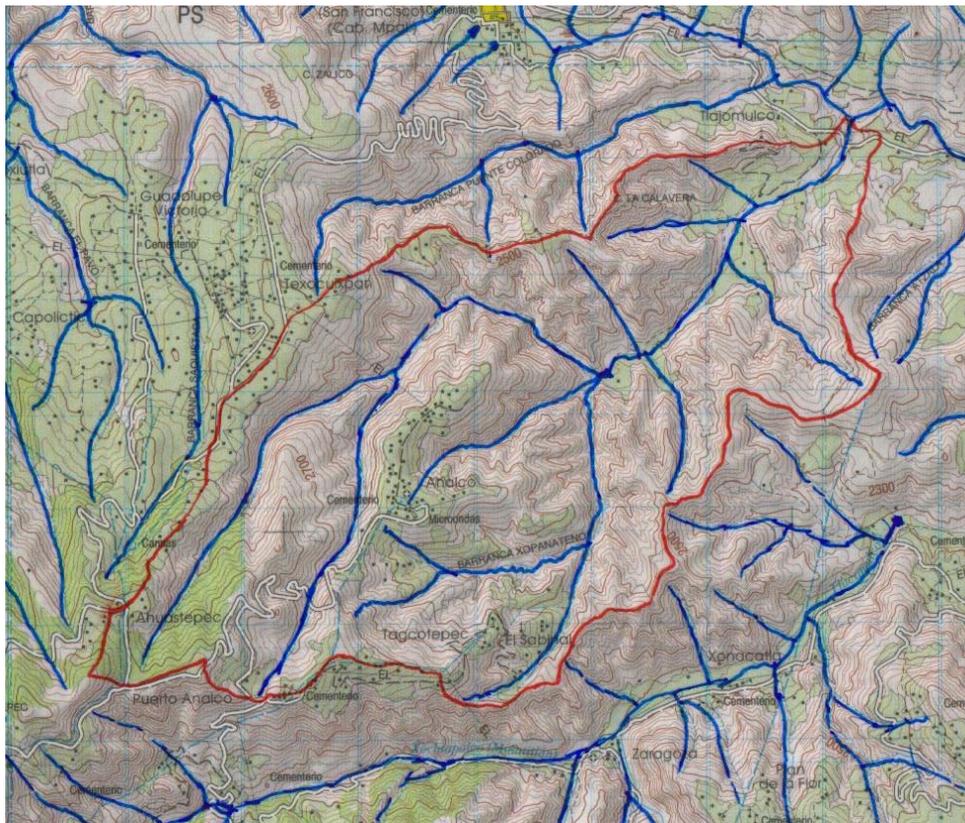


Figura 5. *Escurrimientos*

Todos estos ríos además del Apulco, reciben las aguas de numerosos afluentes que se originan en las sierras del interior, aunque son principalmente corrientes intermitentes.

Por último, existen algunos arroyos intermitentes al sur del municipio que no se encauzan hacia el Apulco, sino que se dirigen al sur donde forman el arroyo o la Caldera, que penetra al Estado de Tlaxcala.

El área de interés se localiza en la región hidrológica RH-27 Tuxpan-Nautla, Cuenca B Río Tecolutla, Subcuenca (e) Río Apulco. Se presentan en el área tres arroyos temporales.

VI. MEDIO BIÓTICO

6.1. Flora

El municipio ha sufrido un proceso muy fuerte de deforestación. Sin embargo cuenta aún con grandes zonas boscosas dispersas por todo el territorio, sobre todo en los lugares más inaccesibles, se identifican bosques de pino, oyamel y táscate que presentan las siguientes especies oyamel, pino chino, encino, quebracho, soyate, pino u ocote, táscate, pino blanco, pino colorado, escobilla, jarilla y senecio.

En el área de interés existe bosque de pino y oyamel con la presencia de *Abies religiosa* como especie dominante, *Pinus patula*, *Pinus ayacahuite*, *Pinus pseudostrobus*, *Quercus sp.*, *Alnus sp.*, *Bacharis sp.* y *Senecio sp.*, existen zonas con elementos de zonas semiáridas como *Yucca sp.*, *Agave sp.*, y *Mammillaria sp.*, asimismo se presenta *Juniperus deppeana* en los sitios más perturbados.

6.2. Fauna

La fauna silvestre existente en la región es la siguiente:

Nombre científico	Nombre común
<i>Colinus virginianus</i>	Codorniz enmascarada o común
<i>Melanerpes spp.</i>	Pájaro carpintero
<i>Buteo sp</i>	Aguililla
<i>Falco sparverius</i>	Halcón cernícalo
<i>Sialia sp</i>	Azulejo

Cuadro 2. Avifauna existente en la zona del incendio

Nombre científico	Nombre común
<i>Sciurus sp</i>	Ardilla
<i>Dascypus novecinctus</i>	Armadillo
<i>Nasua narica</i>	Tejón
<i>Mephithis macroura</i>	Zorrillo listado
<i>Pappogeomy merriami</i>	Tusa
<i>Sylvilagus cunicularis</i>	Conejo común o mexicano
<i>Didelphis marsupialis</i>	Tlacuache

Cuadro 3. Pequeños mamíferos existentes en la zona del incendio

Reptiles

Nombre científico	Nombre común
<i>Crotalus sp</i>	Víbora de cascabel
<i>Sceloporus sp</i>	Lagartija

Cuadro 4. Reptiles encontrados de la zona del incendio

Ninguna de las especies señaladas, tanto de flora como de fauna silvestre, se encuentra bajo algún estatus de protección de acuerdo a la NOM-059-ECOL-94.

VII. MARCO SOCIAL

7.1. Población

La población económicamente activa en el Municipio de Ixtacamaxtitlán en el año de 1985, fue de 10,932 habitantes, cifra que representa el 37.17 % del total de su

población. Por lo que se refiere a su distribución por sectores, el primario es el que absorbe el mayor porcentaje, aproximadamente el 72.57 por ciento, en el sector industrial el 1.25 por ciento y el sector terciario participa con el 26.27 por ciento.

El área de interés se encuentra dentro de los terrenos comunales de la Comunidad de Texocuixpan, en la zona arbolada no existen asentamientos humanos.

Los asentamientos humanos que se ubican alrededor del área siniestrada por el fuego en Texocuixpan son.

Poblado	No. de habitantes
Analco	538
Xocoxiutla	356
Tagcotepec	225
Minatitlán	335
Texocuixpan	760

Cuadro 5. *Número de habitantes por localidad del municipio de Ixtacamaxtitlán, Pue.*

En la comunidad de Texocuixpan con 760 habitantes, la población económicamente activa, representa el 34% del total.

7.2. Vivienda

El tipo de vivienda predominante en la comunidad, es de adobe o tabique, el piso es de tierra o cemento. Los materiales que se utilizan para el techo son lámina de cartón y/o galvanizada, teja, cemento y en menor proporción madera (tejamanil).

7.3. Educación

En cuanto a educación se refiere la comunidad de Texocuixpan cuenta con Jardín de niños, Escuela primaria y Telesecundaria, por lo que las expectativas para realizar estudios de nivel medio y superior en la comunidad son nulas.

7.4. Salud

En este rubro podemos mencionar que la comunidad cuenta con una clínica del IMSS Coplamar

7.5. Servicios Públicos

Los servicios públicos con los que se cuentan en Texocuixpan son: Camino de terracería que comunica a la comunidad con la cabecera municipal San Francisco Ixtacamaxtitlán y con la población de Terrenate perteneciente al Estado de Tlaxcala, dicho camino se deteriora constantemente en época de lluvias, energía eléctrica casi en el 100% de las viviendas, una caseta telefónica y servicio de transporte colectivo a Ixtacamaxtitlán.

7.6. Tenencia de la Tierra

El régimen de propiedad es en su mayoría comunal y en menor proporción pequeña propiedad.

VIII. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

8.1. Definición de Suelo y Tierra

El suelo se define como el conjunto de cuerpos naturales, originados a partir de materiales minerales y orgánicos, que contienen materia viva y que pueden soportar vegetación en forma natural y en algunos lugares ha sido transformado por la actividad humana.

La tierra se define como un área específica de la superficie terrestre cuyas características abarcan todos los atributos razonablemente estables o cíclicamente predecibles de la biosfera, incluyendo a los de la atmósfera, del suelo y geología subyacente, de la hidrología, de las poblaciones vegetales y animales, así como los resultados de la actividad humana pasada y presente, incluyendo las interacciones de todos ellos. Se consideran dichos atributos y sus interacciones en la medida que ejerzan una influencia significativa sobre los usos actuales y futuros por el hombre. (FAO/ UNESCO/ ISRIC, 1988).

8.2. Importancia del Suelo

El suelo es el cuerpo natural no consolidado, ubicado en la parte externa de la corteza terrestre, formado por materiales orgánicos e inorgánicos, agua y aire. Es el sostén de las plantas y les proporciona los nutrientes que necesitan.

El proceso de formación de los suelos es muy lento, por lo que dependiendo del clima y la dureza de las rocas de origen, se requieren decenas o hasta miles de años para formar una capa de suelo de unos cuantos centímetros de profundidad.



Figura 6. *Corte longitudinal del suelo*

El suelo es la base de la vida sobre la tierra. Las plantas lo necesitan para vivir, y los animales y los hombres nos alimentamos de ellas. Pese a su importancia, el hombre a menudo lo utiliza en forma inadecuada, por lo que se degrada paulatinamente hasta llegar a su pérdida total.

Es alarmante la velocidad con la que se degradan las tierras a nivel mundial e incluso en nuestro país. México cuenta con gran cantidad y variedad de suelos, pero muchos de ellos presentan estados avanzados de deterioro, estimándose que el 80% de los suelos del país presentan algún nivel de erosión. (SEMARNAP RISDE 1999)

Para el desarrollo y el mantenimiento de la vida, el agua y el suelo son lo más esencial. El suelo es importante, ya que proporciona la base y la mayoría de los nutrimentos necesarios para el crecimiento de las plantas y de los animales. El agua es necesaria, puesto que constituye una gran parte de la materia viva y actúa como vehículo de los nutrimentos. Aunque estos dos recursos, suelo y agua, son muy comunes y abundantes en la naturaleza, sin embargo, no están distribuidos por igual en calidad y cantidad en todas las partes del mundo.

El origen de todas las cosas vivientes sobre la Tierra puede ser ligada, directa o indirectamente, al suelo; en términos prácticos, es un recurso no renovable y un

recurso finito. Actualmente, la degradación del suelo ha alcanzado niveles preocupantes, a la vez que los sistemas productivos basados en el uso directo del suelo muestran una disminución considerable de su productividad. Consecuentemente, hay un interés abrumador en fomentar la generación, validación, transferencia y adopción de opciones tecnológicas de utilización sustentable de las tierras, que prevengan o minimicen la degradación de los suelos y restauren su capacidad productiva.*

El suelo es base fundamental de los procesos que permiten el funcionamiento de los ecosistemas. Por ello, su conservación y restauración es condición necesaria del desarrollo productivo y de la preservación de la singular riqueza biológica con que cuenta el país.(SEMARNAP Programa de Trabajo 2000)

Aunque poco reconocido comúnmente, el suelo constituye un recurso natural fundamental del que depende la capacidad de producir alimentos suficientes para la población; regula los ciclo hidrológicos y permite la reproducción de la biodiversidad. (SEMARNAP, Plan de Trabajo de la Subsecretaría de Recursos Naturales, 1995).

8.3. Que es la Erosión

La erosión del suelo es la destrucción, desprendimiento y eliminación del suelo de un lugar y su depósito en otro, mediante las fuerzas de golpeo y traslado del agua, del soplo del viento, las ondas fuertes, la nieve y la gravedad.



Figura 7. Zona erosionada en la región de Ixtacamaxtitlán Pue.

La erosión se define como la remoción y pérdida del suelo de su lugar de origen, ocasionada principalmente por la acción del agua y del viento. Es un fenómeno en el que interactúan los siguientes elementos:

- ◆ *Agua:* La fuerza de la precipitación pluvial, así como su desplazamiento por la superficie en forma de corriente causa la remoción y transportación del suelo.
- ◆ *Viento:* Desprende y carcome las rocas; transporta y deposita las partículas del suelo que son arrastradas. Un ejemplo de ello son los remolinos, que en la temporada de secas se mueven muy de prisa formando columnas de aire que arrastran las partículas o pedacitos de suelo, trasladándolas a grandes distancias.
- ◆ *Temperatura:* Los cambios de temperatura ocurridos durante el día y la noche, así como los cambios entre las estaciones de verano e invierno, provocan que las

rocas se resquebrajen y que el suelo se reseque, permitiendo su arrastre por el aire o el agua.

- ◆ *Agentes biológicos*: Destruyen las rocas y exponen al suelo a la erosión causada por el agua y el viento.
- ◆ *Erosión geológica*: Ocasionada por diversos fenómenos naturales. Es un proceso muy lento, que necesita muchos años a producir cambios en la superficie de la tierra. La erosión natural es un proceso constante que seguirá desarrollándose a pesar de todo lo que haga el hombre para evitarlo.
- ◆ *Erosión inducida*: Causada por el hombre; acelera la pérdida de los suelos al destruir la cubierta vegetal con las labores de los cultivos, el exceso de los barbechos Y rastras continuas que dejan demasiado suelto el suelo, facilitando que el agua y el viento arrastre; las talas desmedidas y los sobrepastoreos, y la quema de rastrojos y bosques.

8.4. Causas de Degradación del Suelo

La degradación de los suelos es un proceso que generalmente inicia con la pérdida de la cubierta vegetal y la deforestación; se acentúa en la medida en que se desarrollan actividades productivas que no contemplan un adecuado manejo de este importante recurso natural.

La situación se agrava por el uso del fuego en las actividades agropecuarias, práctica extendida y arraigada pero de alto riesgo, ya que es la causante principal de los incendios forestales.(SEMARNAP Programa de Trabajo 2000)



Figura 8. *Perspectiva de la zona después de retirar el arbolado*

Las causas de la degradación del suelo son muy diversas, sin embargo destacan por su importancia el cambio de uso de suelo y la apertura de tierras no adecuadas para actividades agropecuarias. En este sentido FAO en 1986 vislumbró la necesidad de promover técnicas de producción tendientes a el mejoramiento de los sistemas productivos, destacando a la agroforestería y al desarrollo integral de cuencas a través del uso de prácticas productivas no degradantes para el suelo.*

La degradación del suelo es un problema ambiental de prioridad nacional, ya que actualmente todas las actividades productivas del hombre repercuten en el ecosistema en general, pero se observan en el suelo.

El suelo se degrada física y químicamente por las actividades agrícolas, pecuarias y forestales principalmente y como es el sostén del ecosistema, este se destruye en algunos casos en forma irreversible. (Informe del Curso-Taller “Tecnologías Alternativas para la Conservación del Suelo”).

Entre los factores responsables de la elevada tasa de degradación de suelos y tierras se encuentran: crecimiento poblacional, deforestación, uso de tierras de poca aptitud agrícola y mal manejo en general de los recursos naturales.

Mientras que existen procesos geológicos de formación de desiertos conocidos como procesos de desertización, existe también la degradación de tierras productivas al ser desprovistas de su cubierta vegetal y manejadas inadecuadamente, proceso llamado desertificación, el cual ocurre en todas las condiciones climáticas aunque las tierras secas son más susceptibles de experimentarlo.

La desertificación es un conjunto de procesos dinámicos (físicos, químicos y biológicos) que afectan la productividad de los ecosistemas y que se relacionan con el uso inadecuado de los recursos: agua, suelo, flora y fauna; puede llegar a ser irreversible y tener consecuencias sociales, económicas y ecológicas.(INEGI-SEMARNAP. Estadísticas del Medio Ambiente).

Se estima que los procesos de desertificación son responsables del 30% de la acumulación de gases de “efecto invernadero”, es decir; de gases que producen el calentamiento global del planeta. (Convención de las Naciones Unidas Sobre Cambio Climático).

La capa superior del suelo, con su contenido orgánico y su estructura suelta, es factor de importancia para un buen desarrollo de los árboles.

Sin embargo, los terrenos que se destinan a la plantación de árboles por lo general han perdido ya la capa superior del suelo o les queda muy poca.

Los daños del fuego, el mayor enemigo del bosque, varían de acuerdo con la naturaleza de la cubierta forestal y la intensidad del incendio, desde daños de poca importancia hasta la destrucción completa de los beneficios, tanto protectores como económicos, no sólo para el presente sino para generaciones futuras. (Manual de Conservación).

Todo terreno poblado de árboles que haya sufrido la labor de la rastra, o los efectos de la quema, o ambas cosas a la vez, no se perpetuará por sí mismo; dejará de ser cobijo para la caza y no proporcionará ya la deseada protección contra las pérdidas originadas por la escorrentía y la erosión. (Ayres).

8.5. La Erosión Hídrica de Suelos en México y su Importancia

Por su orografía accidentada, gran parte del territorio mexicano está expuesto a la erosión de suelos, y particularmente a la erosión por lluvia. Esto produce la pérdida de un recurso natural, que para fines prácticos, puede considerarse al suelo como un recurso no renovable.

La pérdida de suelo repercute en una gran cantidad de problemas, dos de los más importantes son: el descenso en la producción de los cultivos y la pérdida de capacidad en los embalses. En México gran parte de la producción agrícola proviene de las zonas temporaleras, y es en estos sitios donde se acentúa la pérdida de suelo útil por erosión, debido al régimen de lluvias, la orografía y las técnicas de cultivo. Paradójicamente, el suelo "útil" que se pierde en las cuencas, es un problema en los embalses, pues reduce su capacidad de almacenamiento para riego, generación eléctrica, control de avenidas o disponibilidad de agua para consumo humano.

En México el problema se presenta principalmente en las zonas de topografía quebrada, donde las pendientes del terreno son escarpadas. Se ha observado que cuando los suelos se empobrecen por el efecto de la erosión, o bien cuando éstos han desaparecido, se abandonan dichos lugares por la baja producción de los cultivos. Existen lugares donde en un período de 60 años se han perdido estratos de 1 metro de suelo, si se toma en cuenta que generalmente solo los primeros 60 cm de suelo son los más útiles para la agricultura, se entenderá el acelerado empobrecimiento de los suelos y su importancia. (CENAPRED 1994).

México cuenta con 196.71 millones de hectáreas de superficie territorial con características muy diversas, pero que se singularizan en una nota común que es la degradación que conduce a la desertificación, o pérdida de la capacidad productiva. En efecto, se ha estimado que el 97% de los suelos nacionales sufren procesos de deterioro en distintos grados y que el 60% padecen una afectación severa. Por tipos de desertificación tenemos que: el 85% del suelo del país está afectado por erosión eólica; el 80% del territorio está afectado por disminuciones considerables de la materia orgánica del suelo; el 60% de los suelos padece erosión hídrica; y en el 20%, que precisamente corresponde a los principales distritos de riego del país, hay grave presencia de salinización. Lo anterior ha llevado a estimar que anualmente en México se pierden 560 millones de toneladas de suelo.

Las causas de la desertificación son muchas, sin embargo todos los investigadores coinciden en que la más importante tiene que ver con un manejo inadecuado de los recursos por el hombre. Más aún, este manejo inconveniente se agrava en los países con mayor pobreza rural, debido a la presión que se ejerce sobre los recursos, conduciendo a un círculo vicioso de pobreza, que al exigir mayor intensidad en el uso de los recursos, conlleva a su mayor deterioro y produce todavía más pobreza. (SEMARNAP, Plan de Trabajo de la Subsecretaría de Recursos Naturales, 1995).

Por efecto de la erosión, México pierde cada año un estimado de entre 150,000 y 200,000 hectáreas y se calcula que en los últimos 30 años ha perdido más suelo que en toda su historia.

En México concurren diversas causas naturales que condicionan o favorecen los procesos de degradación de la tierra; entre los de mayor incidencia se encuentran la erosión hídrica y eólica, la degradación física, química y biológica, además del aumento de las condiciones de salinidad-sodicidad. Estos procesos se tornan importantes porque todas las provincias fisiográficas del país se encuentran

degradadas en mayor o menor grado en prácticamente toda su extensión. (INEGI-SEMARNAP. Estadísticas del Medio Ambiente).

Cuadro 6. Degradación de la tierra por provincia fisiográfica
(porcentaje de la superficie de cada provincia)

Provincia	Proceso de Degradación							
	Hídrica	Eólica	Química	Física	Biológica	Salina	Sódica	Global
Plataforma Yucateca	0	95	4	1	95	55	25	90
Planicie Costera	3	60	80	10	90	50	15	100
Tabasqueña-Chiapanea								
Planicie del Sureste	7	90	85	1	100	20	1	100
Valle Nacional y Mesa Central de Chiapas	17	80	30	5	100	5	0	100
Sierra Madre del Sur	16	80	40	30	100	20	0	100
Grupo de los Mames	0	60	45	0	100	0	0	100
Subserranense	40	75	2	15	100	1	0	100
Eje Neovolcánico	45	90	3 ¹	20	100	5	5	100
Planicies Bajas de Tamaulipas	20	80	0	50	100	50	10	100
Planicie Costera Nororiental	30	90	0	50	100	35	20	100
Altiplanicie Septentrional	80	90	0	10	80	20	17	100
Sierra Madre Occidental	70	100	1	15	80	5	0	100
Planicie Costera Noroccidental	55	100	4	40	100	30	25	100
Desierto de Sonora	95	100	0	30	50	44	50	95
Sierra de Baja California	80	90	0	0	0	0	0	100
Sierra de Baja California Sur	100 ¹	100	0	0	60	2	5	100
Total Nacional	60	85	15	20	80	20	15	95

¹ Aún no cuantificado el 40%

FUENTE: Ortiz M., M. Anaya y J. Estrada, **Evaluación, Cartografía y Políticas Preventivas de la Degradación de la Tierra**, Colegio de Postgraduados, Universidad Autónoma Chapingo y Comisión Nacional de Zonas Áridas, México, 1994.

La superficie total del país es de 196.71 millones de hectáreas; y los principales usos del suelo se muestran en el siguiente cuadro:

Cuadro 7. Uso del suelo en México

Usos	Porcentaje
• Pastizales	14.2
• Terrenos agrícolas	12.7
• Terrenos agropecuarios de aptitud forestal	11.4
• Bosques	15.5
• Selvas	13.4
• Arbustos y matorrales	29.3
• Vegetación de desiertos y dunas	1.6
• Otros	1.9

FUENTE: SARH. Inventario Forestal Periódico 1992-1994

Los procesos de erosión hídrica se aceleran cuando el ecosistema es perturbado por causas naturales (ciclones, incendios, entre otros) o por actividades humanas tales como cambio en el uso del suelo para fines agropecuarios y silvícolas y construcción de infraestructura. En general, la erosión acelerada no puede ser compensada por los procesos de formación del suelo, lo que causa un empobrecimiento paulatino del ecosistema. (INEGI-SEMARNAP. Estadísticas del Medio Ambiente).

8.6. Determinación de las Prácticas para el Combate de la Erosión

El diseño de las estrategias para el control de la erosión tiene que basarse en estudios de la mecánica de desprendimiento y transporte de las partículas del suelo por dispersión pluvial, escorrentía y viento. Comúnmente, con estas estrategias se pretende alcanzar uno o varios de los objetivos siguientes:

- ⇒ Protección contra el impacto de la lluvia,
- ⇒ Aumento de la capacidad de infiltración para reducir el volumen de escorrentía,
- ⇒ Mejorar la estabilidad de los agregados, para aumentar su resistencia a la erosión,
- ⇒ Aumentar la aspereza de la superficie para reducir la velocidad del escurrimiento superficial y/o del viento.

Estos objetivos se pueden lograr mediante prácticas biológicas y prácticas mecánicas, cada una de las cuales afecta en mayor o menor magnitud a los procesos que intervienen en la erosión.

8.7. Estrategias Biológicas

Las prácticas de control biológicas (vegetativas y agronómicas) utilizan el papel de la vegetación para minimizar la erosión. Incluyen el uso de coberturas, el aumento en la rugosidad superficial, el manejo de fertilizantes y de prácticas de labranza, entre otras. El efecto relativo de dichas prácticas sobre la reducción del desprendimiento y transporte de suelos se muestra en el Cuadro 8.

8.8. Estrategias Mecánicas

Los métodos mecánicos o físicos se basan en la manipulación de la topografía superficial para disminuir el flujo erosivo del agua y el viento, como es el caso de las terrazas y las cortinas rompevientos. Con las prácticas mecánicas se busca controlar la energía disponible para erosión mediante el control de la fase de transporte. Los principales efectos de las prácticas mecánicas se muestran en el Cuadro 9.

Cabe señalar que las prácticas mecánicas son poco eficientes por sí mismas en la conservación del suelo, debido a que no previenen el desprendimiento de las partículas. De hecho su papel principal es de complemento defensivo de las medidas vegetativas y agronómicas, utilizándose para controlar la excesiva velocidad del viento y la magnitud y/o velocidad de los escurrimientos superficiales.

El tipo de medida de conservación que se requiere en cada caso depende de cuál sea el problema principal (desprendimiento o transporte) así como el factor activo predominante. En este contexto, las medidas agronómicas y vegetativas a menudo tienen éxito por sí mismas, pero las mecánicas raramente son efectivas sin aquellas.

Adicionalmente a lo anterior, las prácticas vegetativas y agronómicas tienen otras ventajas sobre las mecánicas, entre ellas:

- a) Su menor costo,
- b) A menudo no requieren maquinaria especial,
- c) Generalmente necesitan menos mantenimiento,
- d) Se incorporan más fácilmente a los sistemas agrícolas ya existentes.

Independientemente de los anterior, generalmente los mejores resultados se obtendrán con una adecuada combinación de prácticas mecánicas y biológicas.

Cuadro 8. Efecto de las prácticas biológicas de conservación en el desprendimiento y transporte de las partículas del suelo. Fuente: Morgan, 1986.

Práctica	Control sobre					
	Gotas de lluvia		Escurrimiento		Viento	
	D	T	D	T	D	T
Medidas agronómicas						
Cubrir la superficie	*	*	*	*	*	*
Aumentar la rugosidad	-	-	*	*	*	*
Aumentar el almacenamiento	+	+	*	*	-	-
Aumentar la infiltración	-	-	+	*	-	-
Manejo de suelos						
Fertilizar, estercolar	+	+	+	*	+	*
Subsoleo, drenaje	-	-	-	*	-	-

Cuadro 9. Efecto de las prácticas mecánica de conservación en el desprendimiento y transporte de las partículas del suelo. Fuente: Morgan, 1986.

Práctica	Control sobre					
	Gotas de lluvia		Escurrimiento		Viento	
	D	T	D	T	D	T
Surcado al contorno	-	+	+	*	+	*
Pileteo	+	*	*	*	+	+
Terrazas	-	+	+	*	-	-
Barreras rompevientos	-	-	-	-	*	*
Cauces empastados	-	-	-	*	-	-

D = Desprendimiento, T = Transporte, (-) no controla, (+) control moderado, (*) control adecuado.

(Antonio Becerra Moreno, 1999).

8. 9. Espaciamiento de las Terrazas

Como resultado de observaciones prácticas y de estudios verificados por las estaciones experimentales para la conservación del suelo y de la humedad, se han establecido algunas recomendaciones de carácter general con referencia al espaciamiento de las terrazas. Las distancias entre terrazas que aparecen en el cuadro N° 10 se basan en estas recomendaciones. Los valores mínimo y máximo varían del valor medio en 15%. En las regiones donde sea excelente el sistema de prácticas agrícolas, donde el suelo sea resistente a la erosión, y donde la intensidad de las lluvias sea baja, el espaciamiento de las terrazas se puede aumentar sin peligro hasta 15%. Por otro lado, si el sistema de rotaciones comprende un porcentaje alto de cultivos en hileras, si el suelo es susceptible a la erosión, y es alta la intensidad de la lluvia, el espaciamiento de las terrazas puede entonces disminuirse en igual proporción. A fin de contrarrestar la acción de factores combinados intermedios, el espaciamiento debe aumentarse o disminuirse en forma conveniente. Sucede a menudo que un factor favorable queda neutralizado por uno desfavorable, y en tales casos no puede justificarse desviación alguna del espaciamiento medio recomendado.

Además de los intervalos verticales entre las terrazas en diferentes grados de pendiente, la tabla 3 indica las distancias horizontales entre las terrazas. Estos datos se usan para calcular fácilmente qué extensión de terreno pueden cubrir las terrazas de determinada longitud, o la longitud de terrazas que sería necesaria para cubrir una extensión de terreno determinada.

Una fórmula conveniente para determinar el intervalo vertical aproximado (en pies) de las terrazas en condiciones normales, consiste en dividir la pendiente (porcentaje) por 4 y sumarle 2 al cociente obtenido, $IV = (2 + P/4)$. Para convertir el resultado a unidades métricas, se multiplica por 0.305, es decir, $IV = (2 + P/4) 0.305$ que es la fórmula para obtener el intervalo vertical en metros.

Cuadro 10. Distancia entre terrazas

Porcentaje de Pendiente	Distancia en Pendiente	Intervalo Vertical	Intervalo Horizontal
	<i>Metros</i>	<i>Metros</i>	<i>Metros</i>
4	22.86	0.91	22.86
5	19.81	0.99	19.81
6	17.78	1.07	17.78
7	16.35	1.14	16.33
8	15.27	1.22	15.24
9	14.33	1.0	14.29
10	13.77	1.37	13.72
11	13.21	1.44	13.16
12	12.78	1.52	12.70
13	12.42	1.60	12.32
14	12.09	1.67	11.97
15	11.81	1.75	11.68
16	11.58	1.83	11.44
17	1.36	1.90	11.17
18	11.19	1.98	11.00
19	11.06	2.06	10.84
20	10.84	2.13	10.66

(Manual de Conservación).

La distancia entre las terrazas se calcula en todos los casos de manera que la escorrentía que fluye sobre las porciones limitadas por ellas no alcancen velocidad erosiva. Por lo tanto, depende, de la pendiente del terreno y de las condiciones del suelo y del cultivo que en el se establezca. Cuanto mayor sea la separación, menor es el costo de construcción; con tal objeto siempre se trata de acercar el espaciamiento al máximo posible en las condiciones más críticas de uso del terreno. En el caso de practicarse una rotación, esta distancia estará dada por las necesidades de defensa en el período en que crece el cultivo que ofrece la menor protección al terreno.

El espaciamiento se expresa en términos de diferencia de niveles en metros, de dos terrazas sucesivas. Un espaciamiento, de un metro, por ejemplo, significa que una de las estructuras está localizada un metro más alta que la siguiente y un metro más

baja que la anterior. La distancia horizontal entre terrazas varía por lo tanto para el mismo distanciamiento vertical, con la pendiente del terreno. En un terreno con 5% de pendiente, una distancia vertical de metro equivale a una separación horizontal de veinte metros, en tanto que en una pendiente del 10% equivale tan sólo a diez metros de distancia horizontal.

Cada una de las terrazas debe tener capacidad suficiente para transportar las mayores cantidades de agua que le puedan llegar durante el tiempo de servicio para el cual se ha calculado.(Manual de Conservación U. A. CH.).

8.10. Que son las Terrazas

Son estructuras de defensa, que generalmente consisten en una zona de captación y un promontorio (lomo), que se construyen transversalmente a la pendiente del terreno. Tienen como función principal reducir la longitud de las laderas en varias menores, regulando el escurrimiento superficial. Existen varios tipos de terrazas, entre las que destacan las de “base ancha”, útiles en pendientes menores del 10%, las de “base angosta” para pendientes del 25% y las de “banco” para pendientes del 20%. Por su función las terrazas se pueden clasificar en dos tipos: de “**absorción**”, generalmente trazadas a nivel o en contrapendiente, y las de “**desagüe**”, con pendientes entre 0.1 y 0.2%.(CENAPRED 1994).

Las terrazas son terraplenes formados entre bordos o la combinación de bordos y canales construidos con material de excavación y perpendiculares a la pendiente. Para ser eficientes, estas obras deben combinarse con otras prácticas de conservación de suelos, como las zanjas y el uso y manejo adecuado de vegetación.

Además de los objetivos indicados para las prácticas mecánicas en general, las terrazas pueden tener la finalidad adicional de acondicionar el terreno para labores

agrícolas, y en el caso particular de las terrazas de canal amplio, la de captación de agua "*in situ*".

Las terrazas constituyen una práctica de gran adaptabilidad a diferentes condiciones, entre ellas:

- ⇒ Clima.- Hay terrazas apropiadas para captar agua, infiltrarla o desalojarla.
- ⇒ Erosión.- Hay adaptación a diferentes grados de erosión, aunque si esta es grave, el costo de las terrazas puede ser elevado, no redituable.
- ⇒ Topografía.- Amplia adaptación; si bien a mayor pendiente mayor costo.
- ⇒ Pedregosidad.- Con piedras se dificulta la construcción mecanizada, pero si éstas se presentan, en ocasiones es factible construir las terrazas en forma manual, con la ventaja de tener material (piedra) para reforzar la contrapendiente.
- ⇒ Suelos.- Adaptable a todo tipo de suelos, siempre que sean profundos.
- ⇒ Métodos de construcción.- Adaptables para construcción con tractor, diversos implementos (arado, escrepa, cuchilla) o con mano de obra.

(Antonio Becerra Moreno, 1999).

Las terrazas son drenes o cauces superficiales que se construyen a través de la pendiente de terrenos ondulados y que están diseñados para conducir y sacar el agua del campo, de tal modo que se mantenga dominada la erosión. Las terrazas cambian una ladera con pendiente larga, en un terreno con una serie de pendientes cortas que recogen y regulan el agua sobrante de una zona definida de terreno arriba.

La construcción de terrazas consiste en mover tierra de tal modo que quede formado un lecho y un bordo que pueda cruzarse con la maquinaria agrícola ordinaria. (Foster 1967).

Las terrazas son taludes de tierra construidos transversalmente a la dirección de la pendiente para interceptar la escorrentía superficial y transportarla, con velocidad no erosiva, hacia una salida adecuada, y para acortar la longitud de la pendiente. (R.P.C. Morgan).

Los agricultores de diferentes regiones han adoptado la construcción de canales, distribuidos a intervalos en el terreno, para cortar la escorrentía. En esta forma se evita que el agua adquiera velocidad y volumen suficiente para arrastrar las partículas de suelo. Un tipo de canales que cumplen esa finalidad son los que forman las estructuras llamadas terrazas, las cuales se caracterizan por tener una sección transversal de gran anchura y poca profundidad; de este modo, es posible que el mismo canal se siembre y cultive en forma similar al resto del terreno. (Manual de Conservación U. A. CH.).

IX. DESARROLLO DEL TRABAJO

Partiendo de la teoría de que las lluvias que caen con gran violencia frecuentemente producen considerable arrastre del suelo que se deposita en las depresiones y corre por las laderas. Cuando las corrientes alcanzan velocidades de 60 a 90 cm. o más por segundo, por lo regular arrastran y transportan las capas superficiales de los campos desprovistos de protección vegetal. Velocidades aún menores que la expresada causan a menudo la erosión de los mejores terrenos de arcilla y arena. En la cima, la corriente es generalmente débil, y su descenso lento carece de ímpetu para causar perjuicio. No obstante, cuando las aguas descienden, su volumen y velocidad aumentan y adquieren impulso progresivo y energía para arrastrar consigo partículas de la capa superficial de los campos.



Figura 9. *Vista superior del sistema de terrazas*

Es por eso que en materia de suelos se decidió la construcción de terrazas de formación paulatina, las cuales interceptan el escurrimiento antes de que adquiera velocidad suficiente para provocar la erosión del suelo. Reducen el excedente de las aguas pluviales a una velocidad no erosiva y lo encauzan por canales permanentes. Esto se logro mediante la construcción de una serie de terrazas transversales, ubicando la primera suficientemente cerca de la división de aguas, como para interceptar todo el escurrimiento de las aguas superiores antes que adquieran excesivo poder erosivo o volumen superior a la capacidad del canal de la terraza. Las subsiguientes se colocaron en forma similar. El área de la pendiente y el volumen medio y velocidad de las corrientes, son los factores esenciales a considerar en el diseño de un sistema de terrazas.

En las pendientes largas y de gran inclinación la velocidad y la fuerza erosiva de la corriente son mayores que en pendientes cortas y de poca inclinación. Las terrazas son, en efecto, un recurso para disminuir la erosión cortando las pendientes, y resultan más efectivas si la distancia entre una y otra se gradúa con arreglo a la pendiente, es decir, cuanto más empinada sea la pendiente, el espacio entre las terrazas deberá ser menor. Cada terraza deberá interceptar la corriente antes de que adquiera suficiente fuerza erosiva para arrastrar la capa superficial del suelo. Al diseñar un sistema de terrazas por lo tanto, es de vital importancia conocer el aumento de velocidad y fuerza erosiva que resulte del incremento en la inclinación.

El procedimiento para el desarrollo del presente trabajo fue el siguiente:

1. Ubicación del predio con mayor riesgo de erosión, posterior al aprovechamiento del arbolado muerto por el incendio.
2. Cálculo del espaciamiento entre terrazas.
3. Construcción del aparato tipo A y trazado de las curvas a nivel.
4. Construcción de las terrazas de ramas y piedra acomodada.
5. Reforestación.

9.1. Ubicación del Predio con Mayor Riesgo de Erosión, Posterior al Aprovechamiento del Arbolado Muerto por el Incendio

Primeramente se procedió a recorrer toda la zona afectada por el incendio forestal de copa, con la finalidad de ubicar las zonas de mayor riesgo de erosión por su pendiente, textura y cobertura vegetal. Una vez realizado el recorrido se llegó a la conclusión de que existían varios sitios susceptibles a erosionarse, por lo que se dio

prioridad al sitio en el cual ya se estaba realizando el aprovechamiento forestal, esto debido a que al quedar el suelo sin cubierta vegetal por las labores que el propio aprovechamiento implicaba; provocaría que en las primeras lluvias el suelo se perdiera por arrastre considerando que la pendiente en promedio es de 40 a 45%, y que son suelos con una pobre estructura, lo que los hace muy frágiles.



Figura 10. *Detalle del suelo posterior al derribo del arbolado muerto*

La presente actividad se realizó en el mes de agosto de 1999, fecha en la cual faltaba aún una superficie considerable por retirar y aprovechar el arbolado muerto, así mismo; la época de lluvias apenas había iniciado, esto significaba que los problemas de erosión se manifestarían inmediatamente en los sitios donde hubiera suelo desnudo, porque en algunos sitios aunque se retirara el arbolado no habría mayor problema ya que dichos lugares presentaban ya capas endurecidas de suelo.

Por seguridad se utilizó un espaciamiento entre terrazas de 6.0 m, para evitar fallas de las mismas, porque es importante señalar que las terrazas mal construidas pueden causar más daño que beneficio.

9. 3. Construcción del Aparato A

El aparato A sirve para trazar curvas de nivel o desnivel. Los trazos con el aparato A sirven de guía para hacer las zanjas o acequias de laderas, para orientar los surcos y para otros trabajos de retención del suelo y manejo del agua. El aparato A también se llama clinómetro rústico o compás rústico para nivelación. Puede construirlo cualquier persona con los materiales que tenga a la mano, los más necesarios son:

- a) Dos reglas o palos rollizos de 2 m de largo para hacer las patas del aparato;
- b) Una regla o palo rollizo de 1.5 m largo para hacer el travesaño;
- c) Tres clavos de 2.5 pulgadas;
- d) Una botella vacía con tapón de rosca o una piedra que pese más o menos 1.5 Kg.
- e) Un hilo de 2 m de largo con una lazada en una de las puntas;
- f) Dos trompos (estacas) de 15 cm de largo y 6 cm de diámetro;
- g) Un lápiz
- h) Un martillo o piedra
- i) Un machete o serrucho, y
- j) Un metro o cinta para medir de cualquier clase.

Para empezar a construir el aparato A se unen los dos extremos planos y se clavan, sosteniéndolos sobre un trozo de madera. Es preciso dejarlos bien ajustados. Dejar una distancia de 7 cm entre el clavo y la punta de los palos para que no se abran. No se mete el clavo totalmente porque la cabeza servirá para colgar la plomada, doblar la punta del clavo que salió del otro lado. Colocar la lazada del hilo en la cabeza del clavo para encontrar la mitad de cada una de las patas donde irá colocado el travesaño. Para encontrar la mitad, estirar el hilo hasta la punta del palo, doblar el

hilo por la mitad y marcar con un lápiz a donde llegó donde llegó la mitad. Luego hay que marcar esta misma distancia en el otro palo. Después de marcar las medidas con el lápiz retirar el hilo, clavar una punta del travesaño arriba de la marca que se hizo con el lápiz en la pata; siempre hay que clavar sobre un trozo de madera, clavar la otra punta del travesaño en la otra pata, un poco más arriba de la señal que marcó. Debe dejarse una distancia de 2 m entre las patas. Con un clavo se hace un pequeño agujero en el centro de la tapa de la botella, ésta servirá de plomada. Una vez hecho el agujero meter la punta del hilo y hacerle un nudo para que no se salga, éste debe hacerse a una distancia de 2.5 cm por debajo del travesaño; colocar la lazada del hilo en la cabeza del clavo. Llenar la botella y con agua, arena o tierra y tápela, en caso de no tener una botella se puede usar una piedra más o menos redonda que pese aproximadamente un kilo.

Para encontrar el lugar adecuado de la plomada se busca un terreno más o menos plano en donde hay que clavar las dos estacas a la distancia que hay entre las dos patas del aparato A, las cuales se colocan encima. Para poder trabajar bien con las estacas, no deben estar flojas. Colocar las patas del aparato A sobre las estacas y marcar con un lápiz el punto exacto donde está apoyada cada una de las patas, se cuelga la plomada en la cabeza del clavo sosteniendo el aparato a plomo para que la plomada tenga movimiento libre; fijarse en el lugar donde el hilo va tocando el travesaño y marcar con un lápiz cuando el hilo ya no se mueva. Ahora girar el aparato cambiando de lugar las patas, pero colocándolas en la marca hecha anteriormente en las estacas, marcar con el lápiz en donde indica el hilo; para entonces en el travesaño quedarán dos marcas.

El siguiente paso es hacer una tercer marca exactamente a la mitad de las dos que ya se tenían; para que la plomada caiga en el verdadero centro que se marcó, hay que bajar la estaca que esta más alta, para hacer esto hay que golpearla lentamente hasta que el hilo de la plomada llegue al verdadero centro. Cuando el hilo llegue al centro, sabremos que las patas están a nivel.

Para comprobar esto, damos vuelta al aparato, colocando siempre una pata donde estuvo la otra sobre las estacas, si el hilo de la plomada vuelve a caer en el centro nos indica que esta correcto.

9.4. Trazo de Curvas a Nivel

El primer paso para trazar las curvas a nivel sobre las que se construyeron las terrazas fue trazar la línea madre, poniendo una estaca donde principia la ladera, después se amarró el extremo de una cuerda de 20 m en la estaca, estirando la cuerda en dirección de la ladera hasta el punto más bajo del terreno, amarrando en ella la otra punta de la cuerda. Después se dejaron las distancias de cada trazo sobre la cuerda que marca la línea, según el cálculo de espaciamiento entre terrazas.



Figura 11. *Trazo de línea madre*

Una vez terminado el trazo de la línea madre se puso el aparato A a plomo y perpendicular a la pendiente, colocando la esquina interna de la pata 1 del aparato pegada a la estaca; la otra pata se movió hacia arriba y hacia abajo de la ladera, hasta que la plomada marco el centro poniendo otra estaca en la pata 2, posteriormente se levanto el aparato para poner la pata 1 exactamente donde estuvo la pata 2, se siguió avanzando hasta llegar al extremo del terreno.



Figura 12. *Trazo de curvas a nivel con el aparato "A"*

9.5. Construcción de Terrazas de Formación Sucesiva

Una vez trazadas las curvas de nivel, se procedió a la construcción de las terrazas mediante la utilización de los desperdicios del aprovechamiento forestal (ramas y puntas) y de piedra acomodada.

La construcción de terrazas con ramas acomodadas consistió en las siguientes actividades:

- ◆ Acomodo de ramas. Las ramas se acomodaron formando una pequeña cerca. Primero se establecieron estacas de 1 m de altura aproximadamente, siguiendo la curva de nivel, con una separación de 1 m, posteriormente se acomodaron las ramas entrelazando unas con otras hasta formar un pequeño cerco.



Figura 13. *Detalle de la construcción de terrazas de formación sucesiva con ramas*

- ◆ Construcción de zanja. Posteriormente se procedió a formar una zanja mediante la excavación del suelo utilizando palas cucharudas y rectas, las dimensiones de la zanja son 0.8 m de profundo y 0.8 m de ancho.

- ◆ Formación de bordo. El suelo que se sacó para la construcción de la zanja se fue depositando sobre el cerco de ramas acomodadas formando así un bordo de 0.8 m de alto y 0.8 m de ancho.

La construcción de terrazas con piedra acomodada consistió en las siguientes actividades:

- ◆ Acomodo de piedra. La piedra se acomodó formando una pequeña barda de 1 m de altura aproximadamente por 0.8 m de ancho, siguiendo la curva de nivel. El trabajo complementario se hizo siguiendo exactamente el mismo procedimiento que para las terrazas de ramas.



Figura 14. *Detalle de la zanja y el bordo del sistema de terrazas de formación sucesiva*

Para la realización del trabajo se requirió del siguiente material y equipo:

- Aparato tipo A
- Machetes

- Hachas
- Picos
- Talachos
- Palas
- Marros
- Pinzas de corte
- Carretillas
- Barretas



Figura 15. *Terraza de piedra acomodada*

9.6. Reforestación

Una vez concluida la construcción de las terrazas de formación paulatina, se procedió a realizar la reforestación, con el objetivo de establecer una cubierta

protectora que acelere el mejoramiento vegetativo del lugar y al mismo tiempo produzca la mayor cantidad posible de materiales útiles.

La reforestación se realizó con pino patula, pino montezumae y pino pseudostrobus, estableciéndose a una densidad de 1400 árboles por hectárea.



Figura 16. *Acciones de reforestación*

9.7. Evaluación

La evaluación del funcionamiento de las terrazas en Texocuijpan se basó en dos parámetros, 1) volumen de suelo retenido o que se ha evitado que se pierda y 2) Peso del suelo retenido. Los cuales se calcularon mediante las siguientes formulas:

1. $V = (Er) (A)$

Donde:

V = Volumen del suelo retenido (m^3/ha)

E_r = Espesor del suelo retenido (m)

A = Área (m^2)

$$2. P = (V) (D_a)$$

Donde:

P = Peso del suelo retenido (Ton/ha)

V = Volumen del suelo retenido (m^3/ha)

D_a = Densidad aparente (Ton/ m^3)

La densidad aparente del suelo (D_a) es la relación entre la masa de los sólidos y el volumen total que éstos ocupan, es decir, se incluye el espacio poroso existente entre las partículas sólidas. Esta propiedad del suelo puede presentar valores extremos. El valor varía 1.0 g/cm^3 en suelos arcillosos, orgánicos y bien estructurados, hasta alrededor de 1.8 g/cm^3 en suelos arenosos compactados. En el cuadro 11 se presentan varios ejemplos de valores de densidad aparente en donde se puede apreciar que el valor de esta propiedad disminuye a medida que se incrementa el contenido de arcilla en el suelo.

Cuadro 11. Valores de la densidad aparente de varios suelos de diferentes texturas

<i>Clase textural</i>	<i>D_a (g/cm^3)</i>	<i>Clase textural</i>	<i>D_a (g/cm^3)</i>
Arena	1.5 - 1.8	Migajón arcillo-limoso	1.15 - 1.3
Arena migajón	1.4 - 1.7	Arcilla arenosa	1.1 - 1.25
Migajón arenoso	1.3 - 1.5	Arcilla limosa	1.1 - 1.25
Migajón	1.2 - 1.4	Arcilla	1.05 - 1.2
Migajón limoso	1.15 - 1.4	Arcilla en agregados	0.9 - 1.1
Limo	1.15 - 1.4	Arcilla sódica	1.2 - 1.5
Migajón arcillo-arenoso	1.15 - 1.3	Arena compactada	1.8 - 1.9
Migajón arcilloso	1.15 - 1.3	Suelo orgánico	0.8 - 1.0

Por otra parte, existe una clara relación del valor de la densidad aparente con otras propiedades y características de los suelos; entre éstas destacan la textura, el contenido de materia orgánica, la porosidad, la compactación-compresión, la conductividad térmica y la resistencia del suelo a la penetración.



Figura 17. *Vista de una terraza a dos años de su construcción*

Un incremento en el valor de la densidad aparente de los suelos se refleja en la disminución del espacio poroso y en el incremento de la conductividad térmica, de la compactación-compresión y de la resistencia del suelo a la penetración. Tal incremento de la densidad aparente puede ser causado por la reducción en el contenido de materia orgánica del suelo, por la degradación de los agregados o por la aplicación de una fuerza que reduzca el espacio poroso.

El valor de la D_a no es constante; puede variar con el tiempo para un punto dado, especialmente en la capa arable, y con la profundidad del suelo.

La densidad aparente se determinó mediante el método de la probeta, siguiendo la siguiente metodología:

1. Utilizar una probeta de 100 ml y pesarla.
2. Añadir hasta la marca de 100 ml suelo tamizado y secado a la estufa, y pesarla.
3. Tapar la probeta con un tapón de hule y acomodar el suelo.
4. Tomar la lectura final del volumen del suelo, este valor representa el volumen total.
5. Determinar la D_a , utilizando los datos de los pasos número 2 y número 4.

$$D_a = \frac{m_s}{v_t}$$

Bibliografía

- Becerra Moreno, Antonio. Escorrentía, erosión y conservación de suelos. UACH. México, 1999. 376 p.
- CENAPRED. Fascículo N° 8. Erosión. Secretaría de Gobernación. México. 1994. 24 p.
- CONAZA-SEDESOL. Plan de acción para combatir la desertificación en México (PACD-México). CONAZA. México. 1994.
- Foster Beril, Albert. Métodos aprobados en conservación de suelos. Editorial Trillas. México, 1967 (reimp. 1997) 411 p.
- Foth, H. D. Fundamentos de la ciencia del suelo. Editorial CECSA. México. 1987.
- INEGI-SEMARNAP. Estadísticas del medio ambiente. México. 1997. 461 p.
- Kirkby, M. J. y Morgan, R. P. C. (Compiladores). Erosión de suelos. Editorial Limusa. México. 1984.
- Narro Farías, Eduardo. Física de suelos con enfoque agrícola. Editorial Trillas. México. 1994. 195 p.
- R. V. Tamhane y D. P. Motiramini. Suelos su química y fertilidad en zonas tropicales. Editorial Diana. México. 1980. 483 p.
- Rey, C. J. 1996. Manual para el diagnóstico y monitoreo de la erosión. UACH (Departamento de Suelos).
- SEMARNAP. Programa de trabajo 2000. México. 2000. 304 p.
- SEMARNAP. Informe del Curso-Taller “Tecnologías Alternativas para la Conservación del Suelo”, Impartido por la UACH-CIESTAAM a Productores de la Comunidad de Sabino Farol, Municipio de Caltepec, Pue. Diciembre de 1999.
- SARH. Manual de conservación del suelo y del agua. Colegio de Postgraduados. México. 1977. 584 p.
- SARH. Inventario nacional forestal periódico 1992-1994. Subsecretaría Forestal y de Fauna Silvestre. México. 1994. 71 p.
- Stallings, J. H. El suelo. Su uso y mejoramiento. 6ª. Impresión de la primera edición en español. Editorial CECSA. México. 1977. 480 p.