

**UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA
“ANTONIO NARRO”
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA**



**Proyecto de restauración y manejo forestal de una porción de
la Sierra San Antonio, Arteaga, Coahuila.**

Por:

JOSÉ LUIS SÁNCHEZ MONTESINOS

T E S I S

Presentada como requisito parcial para
obtener el título de:

Ingeniero Forestal

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Enero del 2001

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARÍA “ANTONIO NARRO”

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO FORESTAL

**Proyecto de restauración y manejo forestal de una porción de la Sierra
San Antonio, Arteaga, Coahuila.**

Por:

JOSÉ LUIS SÁNCHEZ MONTESINOS

TESIS

**Que se somete a consideración del H. Jurado examinador como un
requisito parcial para obtener el título de:**

INGENIERO FORESTAL

APROBADA

M.C. José Armando Nájera Castro
Presidente del jurado

Dr. Miguel Ángel Capó Arteaga
Vocal

Dr. José Luis Oviedo Ruíz
Vocal

M.C. Reynaldo Alonso Velasco
Coordinador de la División de Agronomía

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Enero del 2001

DEDICATORIA

Con cariño, amor y respeto a mis padres Jerónimo y Amparo por todos sus sacrificios para poder terminar con mi formación profesional.

Con profundo amor a mis hermanas Teresa, Sara, Rocío, Ángela y a mí hermano Francisco.

A mis abuelos lindos Francisco, Araceli, Alberto+, Adelina por todos sus consejos sabios que me alentaron a seguir con mi formación.

A mis pequeñas sobrinas, Carla, Jennifer y Jessica.

A mis cuñados, Rene, Xavier y Julio por el apoyo, confianza y amistad brindada.

A toda mi familia por su apoyo incondicional y por todo el amor que me brindan.

Con mucho amor a Silvia por su apoyo, paciencia y dedicación.

Con cariño y respeto a Maria Cruz y Carolina por su apoyo y confianza.

AGRADECIMIENTOS

A mi “Alma Terra Mater” por brindarme la oportunidad de continuar con mi superación profesional.

Al M.C. José Armando Nájera Castro, por su apoyo e interés en la formación profesional y la realización de la tesis.

Al Dr. José Luis Oviedo Ruíz por sus acertadas opiniones y correcciones para la finalización de este trabajo.

Al Dr. Miguel Ángel Capó Arteaga por su empeño en la revisión del trabajo.

Al Dr. Heladio Cornejo Oviedo, Al M.C. David Flores Flores y Al Ing. José A. Ramírez Díaz, por su apoyo y consejos.

Especialmente a Zita, Paty y Gil por todas sus atenciones y amabilidades.

A todos los maestros del Departamento Forestal por transmitir sus conocimientos para mi formación profesional.

A mis amigos, Maty, Santiago, Annel, July, Alma, Roberto, Alejandro, Luis M., Mario, Francisco, Simey, Nancy, Efraín, Fernando, Raúl, Idalía, Max, Concepción y David.

A mis compañeros y amigos de la generación LXXXVIII.

A todas las personas que colaboraron de alguna forma en la realización del presente.

INDICE DE CONTENIDO

	Página
INDICE DE CUADROS	iv
INDICE DE FIGURAS	v
RESUMEN	vi
I. INTRODUCCIÓN	1
Objetivos.....	3
Hipótesis.....	4
 II. REVISIÓN DE LITERATURA	 5
Disturbios forestales.....	5
Clases de incendios forestales.....	8
Causas de incendios forestales.....	11
Efecto del fuego en el suelo.....	12
Propiedades físicas del suelo.....	13
Propiedades químicas del suelo.....	17
Propiedades biológicas del suelo.....	19
Efecto del fuego en la vegetación.....	21
Efecto del fuego en el agua.....	23
Efecto del fuego sobre la fauna silvestre.....	25
Efecto del fuego sobre la incidencia de plagas y enfermedades forestales.....	27
Técnicas de restauración forestal.....	29
Formas de manejo forestal en México.....	35
Trabajos afines.....	36

III. MATERIALES Y METODOS	39
Localización geográfica del área de estudio.....	39
Caracterización del área de estudio.....	40
Topografía.....	40
Edafología.....	41
Geología.....	42
Clima.....	42
Vegetación.....	43
Metodología.....	46
Ordenamiento territorial.....	46
Identificación de unidades ambientales.....	46
Zonificación forestal.....	46
Diagnóstico general de disturbio en el área.....	47
Incendios.....	47
Pastoreo.....	49
Clandestinaje.....	49
Plagas y enfermedades.....	49
Evaluación de la condición actual.....	49
Vegetación.....	49
Estudio dasometrico.....	50
Fauna.....	50
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	51
Evaluación del recurso.....	51
Vegetación.....	51

Fauna silvestre.....	52
Plagas y enfermedades.....	53
Pastoreo.....	55
Clandestinaje.....	55
Condición actual del ecosistema.....	56
Propuesta de restauración ecológica y manejo forestal.....	57
Restauración del suelo.....	57
Restauración de la vegetación.....	60
Restauración de la fauna.....	63
Prevención de incendios forestales.....	63
Costo del proyecto.....	64
Manejo del bosque residual.....	65
Justificación del método propuesto.....	66
Unidades ambientales.....	67
V. CONCLUSIONES.....	75
VI. RECOMENDACIONES.....	77
VII. LITERATURA CITADA.....	78
VIII. APÉNDICE.....	86

ÍNDICE DE CUADROS

Número		Página
Cuadro 1	Especies de fauna silvestre distribuidas en el área de estudio.....	53
Cuadro 2	Costos por hectárea de la reforestación.....	64
Cuadro 3	Costos de las obras de ingeniería para la zona de restauración.....	65

ÍNDICE DE CUADROS DEL APÉNDICE

Número		Página
Cuadro A1	Información dasométrica del área de estudio.....	86

ÍNDICE DE FIGURAS

Número	Página
Figura 1 Ubicación del área de estudio.....	39
Figura 2 Zonificación forestal.....	48
Figura 3 Ubicación de las medidas de restauración del suelo y la vegetación.....	61
Figura 4 Identificación de los principales impactos positivos de la restauración de la cubierta forestal.....	62
Figura 5 Unidades ambientales.....	68
Figura 6 Unidades ambientales con vegetación.....	71
Figura 7 Unidades ambientales con cotas altitudinales.....	72
Figura 8 Unidades ambientales con rangos de pendientes.....	73
Figura 9 Unidades ambientales con vegetación, rangos de pendientes y cotas altitudinales.....	74

ÍNDICE DE FIGURAS DEL APÉNDICE

Número	Página
Figura A1 Diagrama del sistema de cepa común con microcuenca.....	87
Figura A2 Diagrama de una presa de ramas.....	88
Figura A3 Diagrama de una presa de morillos.....	89
Figura A4 Diagrama de una presa de piedra acomodada.....	90
Figura A5 Diagrama de presa de gaviones.....	91

RESUMEN

El presente estudio se llevó a cabo con el objetivo de proponer un proyecto técnico y su componente económico para lograr la restauración de áreas afectadas por siniestros forestales y el manejo forestal del bosque residual en una porción de la Sierra San Antonio, Arteaga, Coahuila, ambas en una superficie de 7,323 ha; la superficie afectada por incendio forestal es de 1,762 ha, el cual ocurrió en 1998.

Con la finalidad de delimitar las diversas zonas que se encuentran en el área de estudio, se definieron como criterios de zonificación, la zona quemada (restauración), la zona arriba de 3,000 msnm o con pendientes mayores del 100% (conservación), y las que no entraban en ninguna de estas dos clasificaciones se le asignó el nombre de zona de producción, esto se realizó, sobre la carta topográfica G14-C35 (San Antonio de las Alazanas) y posteriormente se hizo un plano con esta información. Para la formación de unidades ambientales se utilizaron cartas edafológicas, geológicas y topográficas, posteriormente se hizo una sobreposición de rangos de pendientes, rangos de cotas y vegetación (carta uso actual del suelo). Para proponer el manejo forestal de las zonas boscosas que se ubican dentro del área de estudio se procedió a la recopilación de estudios económicos y trabajos de tesis que proporcionaron información de existencias reales promedio por hectárea.

Se elaboraron 16 unidades ambientales, las que dependiendo de sus características, se pueden destinar al uso agropecuario o forestal. Para la zonificación general, el área se dividió en tres tipos, la de restauración, la de conservación y la de producción. Para la zona de restauración se propone una reforestación de 1,530 ha con *Pinus pseudostrobus*, *P. cembroides*, *P. rudis*, *P. ayacahuite* y *Pseudotsuga flahaulti*. También se recomienda la creación de 30 represas filtrantes de ramas, morillos, piedra acomodada y 20 de gaviones, con un costo total de \$10'015,000.00. En las dos zonas restantes, por presentar bosque, se propone el método selectivo para su aprovechamiento. En la zona de conservación se deben aplicar cortas de baja intensidad, del 10 al 15% de sus existencias reales, con la finalidad de sanear y mejorar el recurso, sin fines comerciales, y para la zona de producción se proponen cortas con intensidad del 20 al 30%, con la finalidad de extraer arbolado sobremaduro, decrepito, plagado y enfermo, con fines comerciales.

El restablecimiento de la cubierta vegetal promueve la restauración del suelo, la vegetación y el agua en forma directa, la cual debe apoyarse con las labores de ingeniería recomendadas. Con el mejoramiento de la cubierta vegetal se espera promover la restauración de la fauna silvestre.

I. INTRODUCCIÓN

La creciente explosión demográfica del país y la necesidad de mejorar el nivel de vida de los habitantes que dependen del aprovechamiento de los bosques, selvas y vegetación de zonas áridas, para satisfacer sus requerimientos de productos maderables y no maderables, obliga a que todos los sectores se involucren y tomen en cuenta la importancia del manejo, la conservación, protección, fomento y restauración de estos recursos (Bonilla, 1989).

Existen diversos agentes destructivos de los bosques, pero los más dañinos son aquellos causados por el hombre, que alteran el equilibrio natural, provocando incendios forestales que son un factor determinante en el deterioro del ecosistema.

En México, los incendios forestales en sus variadas manifestaciones, representan uno de los problemas más graves que enfrentan los ecosistemas forestales. Sus consecuencias se traducen en pérdidas tangibles e intangibles, tanto para el presente como para el futuro (Aguirre, 1981). Actúan sobre la vegetación, la fauna silvestre, el aire, el agua y las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, y aunado a esto, el efecto intemperizante del fuego sobre la estructura edáfica (Rodríguez, 1996).

Debido a lo anterior, se han realizado diversos estudios de manejo en la sierra de Arteaga, con la finalidad de proteger el escaso recurso forestal, cada

vez más reducido por la afectación de diversos factores, como son los incendios, plagas y enfermedades, clandestinaje y pastoreo. Por lo anterior, se resalta la importancia de realizar estudios de investigación, para conocer con precisión los efectos de los impactos sobre los componentes de los ecosistemas, con el propósito de proponer acciones que mejoren y restauren las áreas afectadas, buscando así la mejor alternativa de manejo para los bosques.

Por lo tanto, no debe perderse de vista la problemática inherente a los efectos de los incendios sobre los recursos forestales, así como el deterioro que éstos ocasionan sobre el ecosistema, además de otros lamentables impactos ecológicos, económicos, sociales y políticos, tanto en el corto, como en el mediano y largo plazos.

Por tal motivo es necesario conocer las interrelaciones que ocurren en el ecosistema forestal, a efecto de alcanzar a través del manejo de sus componentes un equilibrio ecológico, proponiendo y ejecutando medidas de protección y restauración acordes a las características específicas del ecosistema, en un ámbito de manejo y de sustentabilidad ecológica.

Objetivos

Por lo anterior, el presente trabajo plantea los siguientes objetivos:

Objetivo general

Proponer un proyecto técnico y su componente económico para lograr la restauración de áreas afectadas por siniestros forestales y el manejo forestal del bosque residual en una porción de la Sierra San Antonio, Arteaga, Coahuila.

Objetivos específicos

- a) Proponer las acciones tendientes a la restauración del ecosistema forestal en el área de estudio.
- b) Establecer las medidas más adecuadas para la retención y conservación del suelo.
- c) Elaborar un programa de manejo del bosque residual, con fundamento técnico-silvícola, así como de ordenación forestal.
- d) Definir acciones enfocadas a la protección, conservación y mejoramiento de los recursos de flora y fauna silvestre.

Hipótesis

En función de los objetivos anteriores, a continuación se establece la siguiente hipótesis nula:

Los diferentes agentes de disturbio no tienen impacto significativo en la estabilidad y permanencia del ecosistema forestal en el área de estudio.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

Disturbios forestales

Los eventos que interrumpen los avances sucesionales y que lo hacen retroceder a una etapa anterior, iniciando de esta manera una sucesión secundaria, se dominan perturbaciones (Young, 1991).

En función de sus causas, se distinguen dos tipos de disturbios: naturales y antropogénicos. Los disturbios por causas naturales pueden ser erupciones volcánicas, huracanes, tormentas eléctricas, trombas, vientos, sequías, heladas, granizadas, nevadas, inundaciones, avalanchas, incendios forestales originados por rayos, erosión, glaciaciones y arribo de meteoritos (Rodríguez, 1996). Aunque éstos causan daño, son parte de un rol ecológico en equilibrio manifestados por la evolución y permanencia de especies adaptables a las nuevas condiciones del terreno. Este tipo de perturbaciones se dividen en disturbios de origen espacial, que consisten en los impactos de cometas o fragmentos de éstos, y de aerolitos; los disturbios de origen atmosférico, que también podrían denominarse climáticos u originados por el tiempo atmosférico y los disturbios de origen geológico, que incluyen erupciones volcánicas, efusiones de lava, sismos y movimientos de masas continentales principalmente. Los disturbios de origen biológico consideran a plagas y enfermedades, así como depredación excesiva. Por otra parte, los disturbios antropogénicos son los provocados por el hombre, y aunque son los más recientes en la historia geológica del planeta, son también más variados y devastadores, ejemplificándose con la contaminación del aire, agua y suelo, afectando a vegetales y animales en todo tipo de ecosistemas, y propiciando el calentamiento global derivado de la contaminación del aire. Asimismo, Seoanez (1998) afirma que la sobreexplotación de los recursos naturales ha

modificado las características del suelo, destruido el ecosistema existente, y alterado otros circunvecinos o cercanos; además, ha provocado extinción de especies animales y vegetales, destrucción de biocenosis completas, alteraciones del equilibrio ecológico y deterioro de la calidad de agua, así como alteraciones al clima y modificaciones a la arquitectura del paisaje. Los disturbios más frecuentes y practicados por el hombre son: incendios, pastoreo, clandestinaje e industrialización, urbanización acelerada de zonas rurales, erosión del suelo, así como eutroficación de ríos y masas de agua, por mencionar algunos.

Más del 90% de los incendios son causados por el hombre, algunos por descuido y otros por intención, afectando considerablemente todos los recursos asociados a la vegetación. El efecto directo es el consumo de todo el material leñoso y una vez eliminada toda la vegetación, viene la pérdida del suelo por falta de protección, así como inundaciones, sequías, y en general, ruptura del ciclo hidrológico, además de cambios locales del microclima y muerte o emigración de la fauna (SARH, 1977; SEP, 1982). El pastoreo del ganado en los bosques trae como consecuencia daños al arbolado adulto debido al ramoneo, provocando heridas y quebraduras de ramas. Los árboles inmaduros en etapa juvenil y de renuevo, son más vulnerables a la destrucción por pastoreo, ya que son comidos directamente o deformados por el pisoteo animal. Por otra parte, el propio pasto está en permanente proceso de degradación, ya que el ganado en el pastoreo libre, se concentra en ciertas áreas y come selectivamente las especies que más le agradan, eliminando progresivamente las de mejor calidad y más palatables. Por lo tanto, los pastos

cada día se hacen más pobres, menos abundantes y nutritivos (SARH, 1977). También, al incorporar pastos en las pendientes arboladas demasiado escarpadas, surge el inconveniente de que estas tierras sean pastoreadas excesivamente, por tal motivo, se vuelven estériles y se empieza a generar erosión por viento y agua, derivando en la desertificación e invasión de malezas. Otros impactos ecológicos del apacentamiento excesivo son la reducción de la biodiversidad y alteración de los hábitos alimenticios y de apareamiento de aves, pequeños mamíferos, reptiles e insectos. La contaminación del agua por sedimentos y desechos de animales, representa uno de los principales factores que afectan a los peces; grupo de fauna silvestre que desaparece más rápidamente en Estados Unidos (Nebel y Wrigth, 1999).

Debido al uso intenso y desordenado que se ha hecho de los bosques, principalmente por aprovechamientos irracionales y talas clandestinas, México se ha convertido en un país afectado por estas circunstancias. El problema de la corta irracional de los bosques, se manifiesta con máxima intensidad en las zonas que rodean a las grandes ciudades, o sea, precisamente en las cuencas protectoras de las mismas. Ésto es debido a que el impacto sobre los recursos naturales está directamente relacionado con la demanda poblacional. Este impacto es provocado por que se corta un volumen mayor al crecimiento normal del bosque, no dando tiempo a que éste se recupere (SARH, 1977).

Por último, las plagas de insectos, organismos fitopatógenos, plantas semi-parásitas y muerdágos, forman un conjunto numeroso y heterogéneo de

agentes de disturbio en los bosques de todo el país que merman considerablemente los recursos forestales. Numerosas especies de insectos que habitan en los bosques ocasionan daños diversos a los árboles, de tal manera que unos infestan las semillas nulificando la reproducción natural y otros atacan a las plantas en todas las épocas de su desarrollo. Estos insectos, de acuerdo con sus hábitos alimenticios, devoran las raíces, destruyen totalmente el follaje, se alimentan de la corteza interna (cambium), perforan la madera y succionan la savia de los árboles. Los factores naturales más determinantes en la aparición de plagas son: humedad, temperatura, luminosidad y precipitación (SARH, 1977).

Clases de incendios forestales

Según Verduzco (1974) existen tres clases de incendios forestales: superficiales, de copa y subterráneos. Las características de cada clase se describen a continuación.

Superficiales. Se caracterizan porque su presencia en los bosques sólo quema las malezas y la capa de materia muerta o detritus vegetales que no han sufrido una importante descomposición. Este tipo de incendios forestales es el que se presenta con mayor frecuencia y en la mayoría de los casos únicamente afectan la base de los árboles, pero sin causarles daños de importancia, sobre todo si se trata de especies resistentes al fuego. Sin embargo, son totalmente dañinos para los brinzales de uno o pocos años de edad. Aunque se extienden rápidamente, su combate y extinción son fáciles,

comparados con la labor a desarrollar en el control de los otros tipos de incendios.

De copa. Son aquellos que se desarrollan en las copas de los árboles y en la mayoría de los casos, el fuego consume la totalidad del follaje y el árbol muere por el calor excesivo que reciben las ramas. Estos incendios se presentan con mayor frecuencia en los bosques de coníferas y en menor escala en los de hojosas. Los incendios de copa avanzan con gran rapidez y son los que más riesgo ofrecen para la destrucción de los bosques, pérdida de construcciones dentro de ellos y vidas humanas, si no se toman las precauciones necesarias. El fuego avanza solamente en el sentido del viento y su velocidad de propagación se debe a que partes de ramas incendiadas que se desprenden de los árboles son lanzadas a distancias considerables, iniciando nuevos fuegos. Los incendios de copa son propensos a extenderse hacia arriba de la pendiente; cuando hay vientos muy fuertes, este proceso se acelera, sobre todo si el terreno es escarpado (Harold y Hocker, 1984).

Subterráneos. Este tipo se origina y extiende por debajo de la superficie del suelo debido a la combustión de materia muerta que no ha sido descompuesta todavía. Estas capas están integradas por materiales orgánicos relativamente comprimidos y de estructura muy fina, y se encuentran aisladas por completo de la atmósfera y del aire. En consecuencia, estos incendios se desarrollan lentamente por carecer de suficiente oxígeno, pero el calor que generan es sumamente intenso y con una gran fuerza destructora. Como regla, generalmente no se percibe el humo ni las flamas que ocasionalmente originan. Se presentan en lugares donde es factible la acumulación de grandes

cantidades de humus y en aquellos que permiten la acumulación apreciable de turba.

Debido a la intensidad del calor, la acción destructiva no se limita a dar muerte a las raíces de toda la vegetación comprendida en el área quemada, si no que provoca cierto grado de esterilidad al suelo, lo cual evita que en muchos años vuelva a haber vida vegetal en esos sitios. Harold y Hocker (1984) mencionan que estos incendios se presentan más fácilmente durante sequías prolongadas, y cuando ésto sucede, pueden afectar considerablemente a la vegetación aunque no se encuentren muy activos; los puntos calientes, queman sin llama los tocones y raíces de los árboles y las capas profundas de turba; sólo se extinguen cuando alcanzan la capa freática o después de un periodo prolongado de precipitación, aunque algunos sobreviven al invierno y reaparecen como incendios superficiales durante la primavera siguiente.

De los tres tipos de incendios, el más destructivo es el incendio de copa, pues quema grandes áreas en un tiempo relativamente corto. Los incendios subterráneos se encuentran confinados a zonas más pequeñas, pero cuando se presentan, causan un daño severo ya que destruyen las raíces de los árboles y esterilizan al suelo. Generalmente, los incendios superficiales provocan un daño mínimo, aunque pueden ser extremadamente dañinos cuando se producen en las localidades que no son resistentes al fuego (Harold y Hocker, 1984).

Causas de incendios forestales

Éstas son naturales o debidas a la acción del hombre. Entre las primeras, los rayos durante las tormentas eléctricas representan la mayor frecuencia, mientras que las más esporádicas son debido a erupciones volcánicas y efusiones de lava, así como a chispas provocadas por caídas de piedras, aerolitos y cometas o fragmentos de éstos. En la actualidad, se estima que sólo el 5% de los incendios forestales son atribuibles a causas naturales (Rodríguez, 1996).

La frecuencia de los incendios por rayos es variable en diferentes partes del mundo, incluso los producidos en distancias relativamente cortas. Los incendios producidos por los rayos son poco frecuentes en los bosques lluviosos tropicales, y son escasos en las áreas húmedas como Europa Occidental y gran parte del este de América del Norte. La mayor incidencia de incendios provocados por rayos en el mundo, probablemente ocurre en los bosques de coníferas occidentales de Estados Unidos (no menor del 60% en esta área) (Taylor, 1977).

Más del 85% de las causas que originan los incendios se consideran intencionales, y entre las humanas o antropogénicas, sobresalen la ganadería extensiva debido a la quema de pastos para el rebrote en la época de estiaje, y por otro lado la agricultura, que requiere espacios abiertos para el establecimiento de cultivos y viviendas (Sánchez, 1989). Otras causas son los carboneros, cazadores furtivos, arrieros, fleteros, excursionistas y fumadores,

que provocan incendios al prender fogatas sin circunscribir el fuego, o al dejar caer cerillos encendidos, por ignorancia, descuido o malicia.

Existen otras causas de menor probabilidad para el inicio y desarrollo de incendios forestales, dentro de las que destacan los oleoductos, gaseoductos, industrias, líneas eléctricas y carreteras (Verduzco 1974; Gutiérrez, 1979).

Efectos del fuego en el suelo

Los efectos de los incendios forestales sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, por la acción del calentamiento, son muy importantes, alterando y removiendo sustancias y exponiendo la superficie. La naturaleza y grado de alteración depende de estas propiedades, así como de la intensidad y duración del incendio, topografía y clima del lugar (Harold y Hocker, 1984; Wenger, 1984; Pritchett, 1986).

Los incendios modifican las propiedades del suelo, como se describe a continuación.

Propiedades físicas del suelo

Pritchett (1986) menciona que las propiedades físicas del suelo tienen efectos a diferentes profundidades como resultado de la quema, y están en función de la conductividad térmica del suelo, así como de la temperatura y duración del incendio. Las temperaturas del suelo después de una quema,

están influenciadas por la alteración en la capacidad aislante de la capa de hojarasca y la absorción de calor de la capa superficial, que resultan de la acumulación de cenizas oscuras. Harold y Hocker (1984) y Aguirre (1981) señalan que la reducción del grosor de la capa orgánica superficial, y la exposición del suelo superficial a la radiación solar directa, pueden ayudar a aumentar la temperatura edáfica. También Wenger (1984) señala que la cantidad de humedad que contiene el suelo puede retardar o atenuar proporcionalmente el calor.

Aguirre (1981) estudió el efecto del fuego en la temperatura del suelo y encontró que las temperaturas a 300°C son esporádicas, posiblemente se localizan en las zonas de incineración de restos orgánicos gruesos (ramas y tallos), y sólo alcanzan profundidades de uno o dos centímetros; más aún, esas temperaturas son de corta duración al tratarse de la quema de restos finos (hojas) y bien secos. Los valores obtenidos con una temperatura experimental de 500°C durante cuatro horas, representan valores extremos en el efecto del fuego sobre el suelo. En realidad, las temperaturas que ocurren en el suelo solo causan cambios insignificantes en la fracción mineral, la cual no tiene importancia alguna desde el punto de vista de la dinámica edáfica. Solamente cuando los incendios forestales son muy severos, llegan, en algunos casos, a producir cambios irreversibles.

Wenger (1984) asevera que los efectos sobre la humedad del suelo son indirectos y con frecuencia no están bien definidos. Si se elimina la mayor parte de la cubierta forestal por medio de la quema, pueden reducirse de

manera importante las capacidades de absorción y retención del agua en la capa de humus. La eliminación de este abono orgánico da como resultado una tasa mayor de evaporación. Las altas temperaturas de un terreno quemado, tienden además, a incrementar la evaporación. Los materiales calcinados y las cenizas pueden filtrarse hacia el suelo mineral en las áreas severamente quemadas, tapando los poros con partículas finas, reduciendo así la tasa de infiltración de agua y aumentando la pérdida por escurrimiento. El resultado final de estos cambios puede derivar en una reducción de la humedad disponible para las plantas, y en los campos con pendiente, en una pérdida de materiales edáficos. En terrenos con topografía moderada y en áreas planas, la humedad del suelo no parecer ser afectada apreciablemente por el fuego (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, 1955).

Wenger (1984) y Pritchett (1986) coinciden en que la quema provoca la repelencia al agua (suelos hidrófobos), reduciendo la tasa de infiltración de ésta y su capacidad de almacenamiento; aspectos de especial importancia en terrenos secos y arenosos, en los que se desarrollan con mayor frecuencia las capa hidrófobas. Aunque muchos suelos arenosos de zonas forestales son difíciles de humedecer, raramente se secan por completo bajo una cubierta forestal. No se ha sabido de hidrofobismo en los suelos de las llanuras costeras quemadas por prescripción. Ésto puede atribuirse al hecho de que la cubierta forestal no se reduce de manera drástica y los suelos minerales pocas veces se secan por completo durante una quema adecuada.

Después de un incendio, el suelo queda susceptible a las fuerzas erosivas, volatilización de materia orgánica y disgregación de las partículas, provocando la pérdida de su capa superficial (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, 1978). Ésto se debe, en parte, a la reducción del contenido de materia orgánica del suelo por efecto del incendio, ya que pueden presentarse algunos cambios en la textura, debido a que el material de la superficie tiende a sufrir cambios pequeños en el tamaño de las partículas, y estos cambios estructurales se reflejan en el desarrollo de la agregación, que tiende a ser pequeña y débil, debido al bajo contenido de coloides orgánicos e inorgánicos que facilitan las acciones erosivas del suelo (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, 1955). También ocurre una ruptura del suelo como consecuencia de las altas temperaturas del incendio, provocando una fusión de partículas que lleva a la pérdida de la estructura y segregación de las partículas individuales, haciéndolas más finas y con mayor susceptibilidad al transporte por la lluvia y viento (Walstad *et al.*, 1990). No obstante, la materia orgánica residual, bastante significativa aún después del incendio, coadyuva a la formación y estabilización de los agregados del suelo (Aguirre 1981).

El suelo, al perder parte o toda la vegetación que lo protege, queda expuesto al impacto directo de las gotas de lluvia y a la fuerza de los vientos. En estas condiciones, se presenta inmediatamente el fenómeno de la erosión, donde grandes cantidades de tierra fértil son arrastradas por el agua de los ríos hasta los lagos, valles cerrados o mares. El viento transporta las partículas finas a grandes distancias, ocasionando la llamada erosión eólica. Estos fenómenos se deben a la pérdida de la cubierta protectora y principalmente al

hecho de que las raíces ya no generan la fuerza cohesiva que mantenía las partículas como unidad y que evitaban, junto con otras fuerzas, el arrastre de suelo (Verduzco, 1974). Esto aumenta en terrenos con pendientes escarpadas, el tiempo requerido para el reestablecimiento de la vegetación en las áreas quemadas y causa la destrucción de la vegetación en pendientes inestables, provocando deslizamientos de tierra (Wenger, 1984).

El pisoteo del ganado sobre las zonas quemadas, aumenta la densidad real del suelo, más que en zonas que tienen acumulada una capa de hojarasca. Sin embargo, la intensidad de la erosión después de un incendio depende de las características inherentes al suelo, grado de la pendiente, tiempo, cantidad e intensidad de la precipitación pluvial, intensidad del incendio, así como de la cubierta vegetal.

Propiedades químicas del suelo

Los cambios en las propiedades químicas del suelo durante la quema, se relacionan en primer lugar, con la rápida transformación u oxidación de los nutrientes contenidos en los minerales orgánicos de la vegetación viva y de la hojarasca sobre la superficie del suelo. La quema difiere de los procesos naturales de oxidación biológica, sobre todo por la velocidad con que se liberan los nutrientes. En la descomposición biológica, la mineralización de los nutrientes en el material de la cubierta forestal es lenta pero constante, y la mayor parte de los nutrientes son absorbidos por las raíces de las plantas a medida que se liberan. Por otra parte, la quema libera rápidamente los

nutrientes y algunos se pierden por volatilización, en tanto que una parte de los minerales solubles pueden lixiviarse hacia el suelo, más allá de la rizosfera de los árboles (Pritchett, 1986).

Wenger (1984) y Pritchett (1986) establecen que el aumento de la alcalinidad de la capa superficial del suelo se debe a los elementos básicos contenidos en los residuos de cenizas. La magnitud del cambio depende de la cantidad y del contenido de bases de la ceniza, así como de la textura y del contenido de materia orgánica del suelo. Por lo tanto, el incremento del pH está afectado en proporción directa, por la cantidad de material quemado y en proporción inversa, por el pH que éste contenía antes de la quema. Estos cambios de pH disminuyen con la profundidad del suelo.

La cubierta forestal contiene un potencial de nutrientes en la mayor parte de los bosques. Se ha señalado que en los bosques no quemados, la materia orgánica de la cubierta forestal se descompone lentamente y los nutrientes quedan disponibles para las plantas superiores por medio de la oxidación biológica. El fuego acelera de una manera drástica el proceso de oxidación y algunos de los nutrientes minerales liberados con este proceso, se disuelven y lixivian rápidamente en el suelo mineral. De esta manera, es predecible que el depósito de cenizas de un incendio aumente el contenido en fósforo, potasio, calcio y magnesio disponibles; estos aumentos son máximos inmediatamente después de un incendio y a menudo algunos elementos persisten durante cinco años o más (Pritchett, 1986). Cabe señalar que también se pierden por

volatilización, nitrógeno, azufre y cromo. Las pérdidas de nitrógeno están en función del material orgánico consumido (Wenger, 1984).

Propiedades biológicas del suelo

Pritchett (1986) observó que la mayor parte de los organismos del suelo son sensibles a los cambios de temperatura, humedad y dotación de nutrientes. No obstante, parece que hay poco acuerdo entre los investigadores sobre los efectos del fuego sobre estos importantes contribuyentes del ecosistema forestal. Aunque el calor reduce las poblaciones microbianas, los cambios en sus poblaciones dependen de la intensidad y duración del incendio, humedad y textura del suelo, así como de la profundidad en que reside el organismo.

Por otra parte, es poco lo que se sabe acerca de los efectos del fuego sobre las algas, pero cabría esperar que se redujeran en los suelos superficiales de una manera parecida a los demás microorganismos, sin embargo, esta reducción es temporal (Pritchett, 1986).

Wenger (1984) afirma que varias clases de organismos solamente son afectadas con temperaturas altas, dentro de las que se encuentran las bacterias nitrificantes, que son dañadas cuando el suelo alcanza una temperatura de 100 – 140°C para suelos secos y 50 – 75°C para suelos húmedos; otras bacterias son vulnerables entre 100 a 200°C, y los hongos saprofitos entre 60 a 155°C, respectivamente. El autor también establece que

un incendio afecta por lo menos durante dos años al desarrollo de micorrizas en plántulas forestales. Hay que destacar la acción de los gusanos y otros tipos de microfauna que contribuyen a mejorar tanto la estructura como la porosidad del suelo; situación que también podría ser impactada de manera notable por la influencia del fuego al abatirse drásticamente éstas formas de vida durante un siniestro (Pritchett, 1986).

Pritchett (1986) señala que la fauna del suelo, abarca a los animales que viven en la cubierta forestal y en el suelo mineral durante todo el año, o durante una parte del mismo. Muchos de éstos se mueven de un estrato a otro, dependiendo del grado de desarrollo de la capa edáfica, así como de las condiciones ambientales. Por lo tanto, los efectos del fuego sobre los animales del suelo dependen de su hábitat y de su movilidad, así como de su tolerancia al calor y la desecación. Por tal motivo, Wenger (1984) observó que después de un incendio todas las especies de microfauna abaten drásticamente sus poblaciones, necesitando de algunos años para recobrar su número inicial. En el caso de las poblaciones de lombrices, se ha podido apreciar que quedan notablemente reducidas en la mayor parte de los incendios; esto debido a que la superficie del suelo se encuentra demasiado seca para que puedan sobrevivir.

Rodríguez *et al.* (1993) realizaron un trabajo sobre el efecto del fuego en algunos organismos contenidos en el área de plantación del campo experimental forestal "San Felipe-Bacalar", Quintana Roo, y observaron que el fuego afecta la microbiología del suelo durante los primeros 30 días de

efectuada la quema, recuperándose rápidamente después de este período. De los microorganismos cuantificados, las bacterias fueron las más afectadas por el fuego, pero también fueron las que más proliferaron después de la quema. En general, los microorganismos estudiados se beneficiaron con la quema, ya que en todos los casos rebasaron los niveles de individuos con respecto a su población inicial.

Efectos del fuego en la vegetación

Los fuegos muy fuertes pueden matar a todos los árboles, aunque algunas especies son altamente resistentes. Las altas temperaturas degradan el tejido, consumen las plántulas, dañan directamente a las raíces de los árboles, a la porción baja y superior de los tallos y a la copa de los árboles (Anderson y Smith, 1970).

Wenger (1984) encontró que el calor prolongado a 60°C sobre el tejido vivo de las plantas vasculares, era suficiente para causarles la muerte; también asevera que los tejidos tiernos son dañados en un rango comprendido entre los 35 – 40°C. Además, menciona que las semillas sobreviven a más altas temperaturas y por períodos más largos.

El daño al tallo consiste en la muerte del tejido vivo perimetral. Esta ocurrencia depende de la intensidad y duración de exposición, grosor y conductividad térmica de la corteza, así como temperatura del tallo. En

incendios muy fuertes se puede consumir totalmente el material leñoso (Wenger, 1984).

El fuego, al consumir toda la vegetación genera cambios en la composición de la mayoría de las comunidades forestales, debido a que quedan completamente destruidas. Por tal razón, la comunidad clímax tiende a ser reemplazada por el efecto del fuego, dando pauta al establecimiento de fases sucesionales tempranas, las cuales son compuestas, generalmente, por menos especies, que en su mayoría son intolerantes a la sombra. Éstas, presentan características ventajosas que las hacen más agresivas para colonizar las áreas perturbadas, destacando su gran capacidad de producción semillera y su corta longevidad (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, 1978).

Young (1991) observó que después del incendio se establece una sucesión secundaria que hace retroceder las partes del sistema a una etapa anterior o menos desarrollada. Cuando ha terminado el disturbio, la sucesión se inicia nuevamente con la presencia de vegetación de matorrales y de plántulas de árboles a los pocos años, de manera que el período crítico del suelo a ser erosionado es corto. La intensidad del incendio, las características del lugar y las condiciones climáticas después del disturbio, tienen alta relación con la respuesta de recuperación para poder volver a llegar a una comunidad desarrollada denominada clímax.

Efectos del fuego en el agua

La vegetación afectada por los incendios trae consigo la reducción de la intercepción del agua y de esta manera incrementa el potencial de pérdida hídricas por escorrentía. La corriente del agua arrastra una mezcla de partículas de suelo, disminuyendo con esto su cantidad y calidad aprovechable (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, 1978; Wenger, 1984).

Después de la quema, pudiera presentarse una erosión superficial solo en terrenos con declive y desprovistos de vegetación. Estas condiciones pueden encontrarse en las zonas montañosas después de incendios naturales no controlados, sumamente agresivos. El agua turbia resultante de una sedimentación anormal obstruye la trasmisión de luz, reduce la producción primaria de plantas acuáticas, disminuye los valores recreativos de las corrientes y lagos aumentando los costos de tratamiento del agua para abastecimiento. Sin embargo, existe poca evidencia de que la sedimentación aumente considerablemente a partir de corrientes provenientes de tierras forestales que han sido quemadas de manera controlada (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, 1978; Pritchett, 1986).

Las sustancias químicas disueltas en el suelo son liberadas por la intemperización de minerales, en cantidades que exceden los requerimientos de la comunidad forestal. Por otra parte, el nitrógeno y el fósforo están

presentes en las corrientes fluviales con concentraciones mucho menores que las bases. A medida que estos elementos se mineralizan por la descomposición orgánica en los suelos, son absorbidos rápidamente por los árboles y los microorganismos, quedando sólo concentraciones muy bajas en el agua subterránea. Los nutrientes derivados de la erosión y filtración pueden tener el potencial suficiente para afectar la calidad del agua superficial, causando eutroficación de hábitat acuáticos y reduciendo también la productividad del sitio. Esto se observa en un bosque quemado de *Pseudotsuga mensiezii*, donde las concentraciones de nutrientes en las corrientes forestales fueron considerablemente mayores después del fuego. La concentración del nitrógeno en forma de nitrato se elevó a un máximo de 0.43 ppm un año después del disturbio. Aunque los aumentos en tales concentraciones fueron grandes, las pérdidas por escorrentías de nitrógeno fueron todavía bajas, de aproximadamente 2.2 kg por hectárea durante los dos primeros años después de la quema, y en el tercero, disminuyó a 0.05 kg en la zona de control (Pritchett, 1986).

Pritchett (1986) menciona que una quema prescrita aumenta ligeramente la temperatura del agua pero que no causa efectos significantes en ésta, además, señala que para los incendios forestales de alta intensidad se puede provocar un aumento de 6°C durante períodos breves en las zonas quemada. Wenger (1984) observó que después de un incendio forestal, las corrientes aumentaron 7.8°C.

Por tal motivo, Pritchett (1986) afirma que el vigor y la resistencia a las enfermedades de especies valiosas de peces, pueden resultar perjudicadas tanto por la duración del incremento en la temperatura del agua, como por la temperatura máxima de la misma. Esta temperatura disminuye a medida que las zonas quemadas vuelven a cubrirse de vegetación.

Efecto del fuego sobre la fauna silvestre

Las especies naturales llamadas en conjunto biota, son responsables de la estructura y el mantenimiento de los ecosistemas. Es por ello que cuando se altera el bosque, no sólo se queman los árboles sino que también se modifican todas las relaciones biológicas entre plantas y animales, ya que éstos dependen directa o indirectamente de la vegetación. La pérdida de cualquier hábitat natural genera una reducción proporcional de las poblaciones que lo necesitan (Nebel y Wright, 1999).

Whelan (1995) comenta la importancia fundamental de la vegetación para el hábitat de la fauna silvestre, como refugio para evitar la depredación, protección de los factores climáticos, así como anidamiento y alimentación. Con la falta de vegetación por causa de los incendios forestales se rompe el equilibrio existente entre plantas y animales, eliminando o interrumpiendo las cadenas tróficas del ecosistema, lo que provoca la presencia de organismos no deseables para el bosque en su conjunto, en general, degradando y destruyendo los ecosistemas.

Aguirre (1981), así como Harold y Hacker (1984), señalan que no se ha podido determinar si mueren muchos animales durante los incendios, aunque es un hecho que durante éstos, se presentan índices de mortalidad de la fauna silvestre. Además, se pueden esperar respuestas distintas según sea la estación es que se presente el incendio, siendo más letales durante la primavera debido a que los pájaros se encuentran incubando y los mamíferos recién nacidos no son capaces de moverse rápidamente.

Los incendios tienen profundos efectos sobre todos los factores del hábitat, ya que el área se encuentra sujeta a temperaturas extremas, vientos más veloces y condiciones estivales más secas. Por lo anterior, se produce una reducción de las localidades de anidamiento para los pájaros y las ardillas, aunado a la disminución en el alimento para los ciervos, venados, alces, osos y roedores que se alimentan de sustancias encontradas en el piso forestal (Aguirre, 1981; Harold y Hacker, 1984).

Wenger (1984) observó que los vertebrados, entre ellos los grandes mamíferos y pájaros, comúnmente escapan al daño moviéndose afuera de las partes quemadas, sin embargo, podría tenerse una alta mortalidad en especies de menor movilidad durante los incendios muy intensos. Varios animales, especialmente carroñeros, son atraídos al fuego y áreas recién quemadas.

El efecto directo del fuego sobre los animales invertebrados reduce la población de organismos que habitan el suelo forestal, aunque por lo regular se recuperan las poblaciones en pocos meses o años. Es importante observar

una mayor presencia de hormigas en las áreas quemadas, mientras que especies acuáticas son poco afectadas por este tipo de disturbio (Wenger, 1984).

Indirectamente, el incendio afecta el equilibrio de los animales en las áreas disturbadas, generando el éxodo de las especies que requieren frío o humedad, así como la afluencia de aquellas que prefieren condiciones cálidas o secas, presentándose un incremento desmedido de algunas especies animales en las áreas quemadas como resultado de la abundancia de alimento, así como la emigración de otras por la falta de condiciones favorables para su establecimiento (Wenger, 1984).

Efecto del fuego sobre la ocurrencia de plagas y enfermedades forestales

Los insectos y los árboles mantienen interacciones complejas en el hábitat de los bosques; los primeros afectan a los árboles forestales, e inversamente, los bosques influyen de manera importante en los insectos, los cuales son un componente esencial en la continua sucesión ecológica del bosque a partir de su estado precursor hasta la madurez e intervienen de manera íntima en el reciclaje de los nutrientes dentro del ecosistema forestal (Young, 1991).

El problema comienza cuando se presentan eventos que afectan la resistencia de los árboles, volviéndolos altamente susceptibles a la infestación insectil debido principalmente a los incendios forestales, ya que producen la

destrucción de árboles en forma directa y de nichos en forma indirecta, lo que afecta a las aves insectívoras controladoras de las plagas del bosque y propicia un aumento desmedido del ataque de los insectos a los árboles. Aunque cabe destacar que no sólo el fuego es causa de la aparición de las plagas; promueven su presencia el ocoteo, la resinación intensa, el cinchado y las sequías prolongadas (Gutiérrez, 1979).

Brow (1973) afirma que los aspectos más serios del daño por el fuego a la vida de los árboles radican frecuentemente en el incremento de la susceptibilidad al ataque de plagas y enfermedades, considerando también, que las manifestaciones de plagas y enfermedades son más altas después del incendio y consecuentemente resulta una pérdida mucho mayor de los árboles. Young (1991) establece la facilidad con que pueden causar daño las enfermedades después de los agentes tales como el fuego, los insectos o los animales. Graham (1963) menciona que los efectos ecológicos más importantes de las plagas tienden a obstruir la sucesión, perpetuando las especies pioneras y ocasionando grandes aberturas en la localidad; creando con ello, condiciones apropiadas para el desarrollo e incremento de incendios forestales.

Harold y Hocker (1984) mencionan que las heridas de los árboles en el bosque pueden ser producidas por la acción del viento, el hielo, la nieve u otro agente atmosférico, así como por el daño provocado por el fuego; estas lesiones facilitan la entrada de enfermedades. En este sentido, Spurr y Barnes (1982) aseveran que el fuego puede crear condiciones para el establecimiento

de una nueva comunidad vegetal, de edad similar, resistente por un tiempo a enfermedades y al ataque de insectos, por lo que es recomendable la aplicación de quemas para eliminar o controlar algunos agentes destructores de la flora existente.

Técnicas de restauración

La restauración se plantea considerando que debe atender a una vegetación estable y permanente, en equilibrio con las condiciones del medio y que sea tan evolucionada que admita la capacidad de acogida de cada ecosistema en cuanto a composición, formaciones y estructura (Ministerio de Medio Ambiente, 1998); asimismo, que proporcione una arquitectura apropiada del componente vegetal en el ecosistema, para alentar el establecimiento de la fauna silvestre (Chávez, 1996).

Enseguida se mencionan algunas medidas de restauración que se han llevado a cabo para evitar la erosión del suelo, recarga de acuíferos, disminución de escorrentías, reforestaciones y fomento de la fauna silvestre.

En un área en la que se practicó la minería de carbón a cielo abierto, se procedió a realizar un estudio de restauración seleccionando tres especies perennes leñosas, *Artemisa tridentata*, *Chrysothamnus viscidiflorus* y *Atriplex gardneri*. Cada especie forma una unidad de plantación en triángulo equilátero (40 cm de lado) con una planta en cada vértice. Éstas fueron colocadas en parcelas representando tres patrones de dispersión: al azar, regular y

agrupado. Ya que la meta de restauración era crear un ecosistema funcional que imitara un área de referencia, también fue importante alcanzar densidades naturales de plantas. La vegetación nativa en la región incluye 16,000 plantas leñosas por hectárea. En el estudio se utilizó una serie de plantaciones experimentales con cuatro densidades diferentes de plantas; cada una aplicada a los tres patrones de dispersión. Estas densidades incluyeron mayor, igual y menor que la densidad natural.

Los resultados indicaron que en términos de sobrevivencia y producción de nuevas plantas por medio de semillas, las establecidas en grupos fueron más exitosas que aquellas en que los patrones fueron regular y al azar. Después de tres años, los mejores resultados fueron encontrados en la parcela con altas densidades, donde se tuvo un marcado crecimiento de plantas, una mayor sobrevivencia proporcional y un reclutamiento de nuevas plantas; además, se habían unido en grandes grupos. El reestablecimiento de los animales fue un proceso más complicado. Debido al espacio limitado del sitio de la mina, las parcelas tuvieron una superficie máxima de 0.5 ha; muy pequeña para medir cambios precisos en poblaciones de especies de vertebrados altamente móviles, sin embargo, los censos de insectos indicaron que éstos recolonizaban el sitio rápidamente y observaciones generales sobre vertebrados sugirieron una mejor respuesta a los sitios en grupos (Parmenter y MacMohon, 1983).

Chávez (1996) señala que para la restauración de un bosque tropical seco en el parque nacional Guanacastle, Costa Rica, fue necesario regular la

entrada del público al área; para ésto fueron cerrados los caminos innecesarios, se restringieron los sitios para campamento y se eliminó el pastoreo incontrolado de ganado. A fin de reducir los incendios, se necesitó reducir la superficie con pastizales de especies africanas que son altamente combustibles, las cuales forman la mayoría de los pastizales de la región. Una vez que se evitó el fuego en los pastizales, la vegetación leñosa empezó a colonizarlos, por ejemplo, en un sitio cerca de un segmento grande de bosque, el pastizal se convirtió en bosque secundario después de sólo ocho años sin fuego. Sin embargo, cuando la distancia entre bosques se incrementa, la dispersión natural de semillas se convierte en un factor limitante en la tasa de restauración forestal. Para fomentar la dispersión de semillas en pastizales, se alimentan caballos con forraje que contiene semillas de Guanacastle (*Enterolobium cyclocarpum*). Cuando los caballos deambulan por los pastizales, depositan semillas con sus excrementos; un enfoque altamente efectivo y económico para la repoblación vegetal. Debido a que estos árboles maduran, se vuelven perchas o sitios de descanso atractivos para aves y mamíferos en migración entre bosques. Así, los árboles aislados se convierten en focos de dispersión adicional de semillas. Los árboles que al parecer no tenían dispersión efectiva a larga distancia, como la leguminosa de semilla grande *Hymenea courbaril*, fueron plantadas manualmente.

Perez-Soba (1983) y Carrera (1985) coinciden en que es necesario el uso de obras de ingeniería y trabajos biológicos, ya que pueden corregir el desequilibrio que genera el fenómeno torrencial y los daños que éste origina en el suelo. Dentro de las medidas de restauración propuestas, están las

prácticas especiales de cultivo en pendientes de 10 a 12%; también se sugiere el cultivo en terrazas de infiltración de tipo argelino en pendientes superiores al 20%. Los trabajos biológicos consisten en la implantación de cubiertas permanentes de tipo forestal, tanto arbóreas como herbáceas. Dentro de estos trabajos puede considerarse la reforestación y forestación con especies forestales. Se recomienda utilizar diseños de plantación lo más cerrado posible, pero dentro de las limitaciones biológicas de las especies. Las preparaciones del suelo del tipo lineal, banquetas, caballones, fajas y terrazas, tienen una indiscutible eficacia en el control de las pérdidas de suelo, sobre todo en el período de carencia de los primeros años de crecimiento de la vegetación. Algunas obras de ingeniería recomendadas, son pequeños muros de mampostería en seco, gaviones o incluso madera, apoyados con cortinas rompevientos con especies forestales. También se recomienda la construcción de diques de consolidación y retención en forma transversal a la pendiente o los torrentes principales.

Pimentel y Torales (1990) así como el Ministerio de Medio Ambiente (1998) recomiendan implementar la creación de terrazas ya que son estructuras de defensa, consistentes generalmente en un surco y en el correspondiente lomo o caballón que, trazados sensiblemente paralelos a la línea de nivel del terreno, tienen por objeto absorber o evacuar el exceso de lluvia para evitar el arrastre del suelo. El problema que conlleva su realización es la remoción del suelo, con alteración consecuente de horizontes, obstáculo para labores tradicionales y permanencia limitada. Pero las funciones que éstas pueden tener consisten en frenar la velocidad del agua de escorrentía,

aumentar la capacidad de infiltración, limitar el arrastre del suelo, almacenar más uniformemente las precipitaciones e inducir a la práctica de un laboreo a nivel. Coinciden con Carrera (1985) en utilizar el tipo de terraza argelino, por la pendiente del terreno y su efectividad bajo esas condiciones.

Cruickshank (1985) y Chanphaka (1985) coinciden en utilizar la construcción de terrazas, subsoleo a nivel, excavación de zanjas trincheras, represas de gaviones, mampostería escalonada, diques y cepa común, en el control de la erosión y conservación del suelo, corrección de problemas en el manejo de cuencas, así como recarga de acuíferos, como en el caso de la cuenca oriental del Valle de México, tributaria del lago de Texcoco.

Ben (1985) propone para la estabilización inmediata del suelo, el uso de árboles y arbustos muertos en el incendio, así como materiales pétreos, en forma de montones paralelos y perpendiculares a la pendiente general de las laderas, dentro de las que sobresalen las represas de ramas, represas de piedra acomodada y represas de morillos, así como el uso de pastos, con el posterior establecimiento de árboles y arbustos.

Foster (1967) menciona el uso de linderos o franjas de vegetación para contener la erosión del suelo alrededor de los campos y también para refugio de la fauna silvestre; estos linderos podrían ser de gramíneas (*Poaceae*) y leguminosas (*Fabaceae*).

García (1989) propone utilizar cultivos de cobertura, cultivos en fajas y labranza en contornos, sólo o en combinación con terrazas, cuando éstas se requieren en pendientes ligeras a moderadas. Otros métodos para corregir o disminuir la erosión consisten en establecer represas de alambrado, ramas y rocas sueltas.

Figueroa (1990) señala que para la conservación y recuperación del suelo en la cuenca del río "Las Huertas", Michoacán, se hizo una plantación de 75,900 plantas de *Casuarina equisetifolia* y *Eucalyptus camaldulensis*, en cepa común, y se construyó un par de diques de mampostería para el control de azolves. Con esto se redujo la tasa de escurrimiento y la pérdida del suelo.

Formas de manejo forestal en México

Los bosques de coníferas se pueden clasificar en base a su coetaneidad, incoetaneidad o las tendencias a ellas. Por lo anterior, se han diferenciado dos grandes sistemas de manejo de bosques, el Sistema de Manejo Regular (SMR) y el Sistema de Manejo Irregular (SMI). Cada uno tiene su lugar apropiado dentro de la dasonomía y la decisión técnica del sistema de manejo a utilizar lo determinan fundamentalmente las características de los géneros y/o las especies botánicas que forman las masas de los bosques. Es importante señalar que tanto la selección del sistema de manejo como de los innumerables métodos y submétodos (técnicas silvícolas) que se pueden practicar dentro de cada sistema en un bosque, ameritan consideraciones no solamente silvícolas sino también económicas y sociales (Cano, 1988).

La forma de aprovechamiento del bosque bajo los lineamientos del Método Mexicano de Ordenación de Montes (MMOM), está ubicado dentro del sistema de manejo irregular (SMI), y es aplicable a las masas forestales incoetáneas e irregulares del país (Cano, 1988).

El MMOM tiene como objetivo conducir al bosque hacia una estructura “óptima” o “normal”, que permita un rendimiento estable y eficiente. Ésto se logra con el sistema silvícola asociado al método, en el que se incluye al método de beneficio de monte alto, así como al método de tratamiento de selección, el cual conjuga tanto la corta de regeneración, abriendo pequeños huecos en el dosel de las copas, como las cortas intermedias, para manejar la densidad del rodal y mejorar las condiciones de crecimiento de la masa juvenil y por otra, para mantener una cubierta permanente sobre el suelo (Mendoza, 1983).

Cano (1988) menciona que el Método de Desarrollo Silvícola (MDS), es un conjunto de conceptos y de prácticas que forman un paquete de silvicultura y de manejo forestal dentro de un sistema de manejo regular (SMR), por ser el que más se acopla a las condiciones de la mayoría de los bosques. Este método propone la práctica de aclareos por lo bajo y de cortas de regeneración por medio de árboles padres, y posteriormente, una corta de liberación; con ésto se pretende ordenar el bosque por superficie estricta, en un solo turno.

Trabajos afines

Alanís *et al.* (1993) realizaron un experimento sobre el efecto de tres intensidades de fuego sobre el escurrimiento superficial en un rodal de *Pinus arizonica* en el área experimental “Madera”, Chihuahua, encontrando que el efecto del fuego quemó del 33 hasta el 89% del total de la vegetación existente en el área; además, ocurrió una pérdida de suelo de tres centímetros de espesor. En las partes donde por causa del incendio, el sitio quedó totalmente desprotegido de la vegetación, el evento de precipitación fue de 14.8 mm en un período de tres horas, con un escurrimiento de hasta tres litros por metro cuadrado.

Packer y Williams (1976) mencionan que para un bosque de *Pseudotsuga menziesii* quemado después de las operaciones de extracción de la madera, la cantidad de escorrentía superficial durante los primeros tres años estuvo directamente correlacionada con la cantidad de precipitación invernal y la escorrentía superficial. La erosión fue de 62 a 188 kg/ha durante los dos primeros años, pero al tercero disminuyó considerablemente, perdiéndose sólo 16.80 kg/ha de suelo.

La escorrentía causada por la precipitación en forma de lluvia, fue alta durante el primer año y disminuyó hasta cero, un tiempo después. Estos resultados indican que el comportamiento de la escorrentía y la erosión del suelo en las áreas quemadas, obedece a la cantidad total de cobertura en estas áreas y a la magnitud de los factores climáticos.

García *et al.* (1992) evaluaron los efectos del huracán "Gilberto" ocurridos en 1998, desde el norte de Quintana Roo y Cancún, hasta Cd. del Carmen, Campeche, afectándose la condición de la selva mediante el derribo y desrame de árboles en una superficie aproximada de un millón de hectáreas, dejando con esto material disponible para el brote de incendios forestales. Los incendios detectados (1989) en esta área dañaron una superficie total estimada en 127,303 ha. Para la realización del estudio, se hicieron muestreos con sitios permanentes de investigación silvícola establecidos en el año de 1990, en los que se establecieron unidades de muestreo rectangulares, de 20 m de ancho por 50 de largo (1,000 m²), y un sitio levantado para cada condición establecida como estudio de caso.

Según los resultados obtenidos, para la zona de Central Vallarta, sobrevivió el 22.6% de la vegetación original después del huracán y de los incendios registrados, pero de tres a cuatro años después de los eventos, se registró la regeneración natural con presencia de 109,200 plántulas/ha, las cuales corresponden a 54,400 especies arbóreas, 23,600 arbustivas, 24,000 herbáceas, 5,600 lianas y 1,600 palmas, con una presencia total de 17 familias y 23 especies apareciendo 10 nuevas especies y 6 familias. Para la zona de Pozos, se estima que sólo sobrevivió el 3.9% de la vegetación original, pero para 1990, se estima que existían 76,000 plántulas/ha y para 1992, en el mismo lugar, se calculó una población de 57,600 plántulas/ha, perteneciendo 19,600 a especies arbóreas, 6,800 a arbustivas, 24,800 a herbáceas y 6,400 a lianas, con una composición florística de 19 familias y 20 especies, apareciendo 14 nuevas especies y 8 familias.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

Localización geográfica del área de estudio

El área de estudio se localiza en la Sierra San Antonio, perteneciente a las estribaciones de la Sierra Madre Oriental, en el Municipio de Arteaga, al sureste del estado de Coahuila, y ocupa una superficie de 7,272 ha (Figura 1).

La ubicación del área se encuentra entre los paralelos $25^{\circ} 15'$ y $25^{\circ} 19'$ de latitud norte y los meridianos $100^{\circ} 25'$ y $100^{\circ} 32'$ de longitud oeste (CETENAL, 1975).

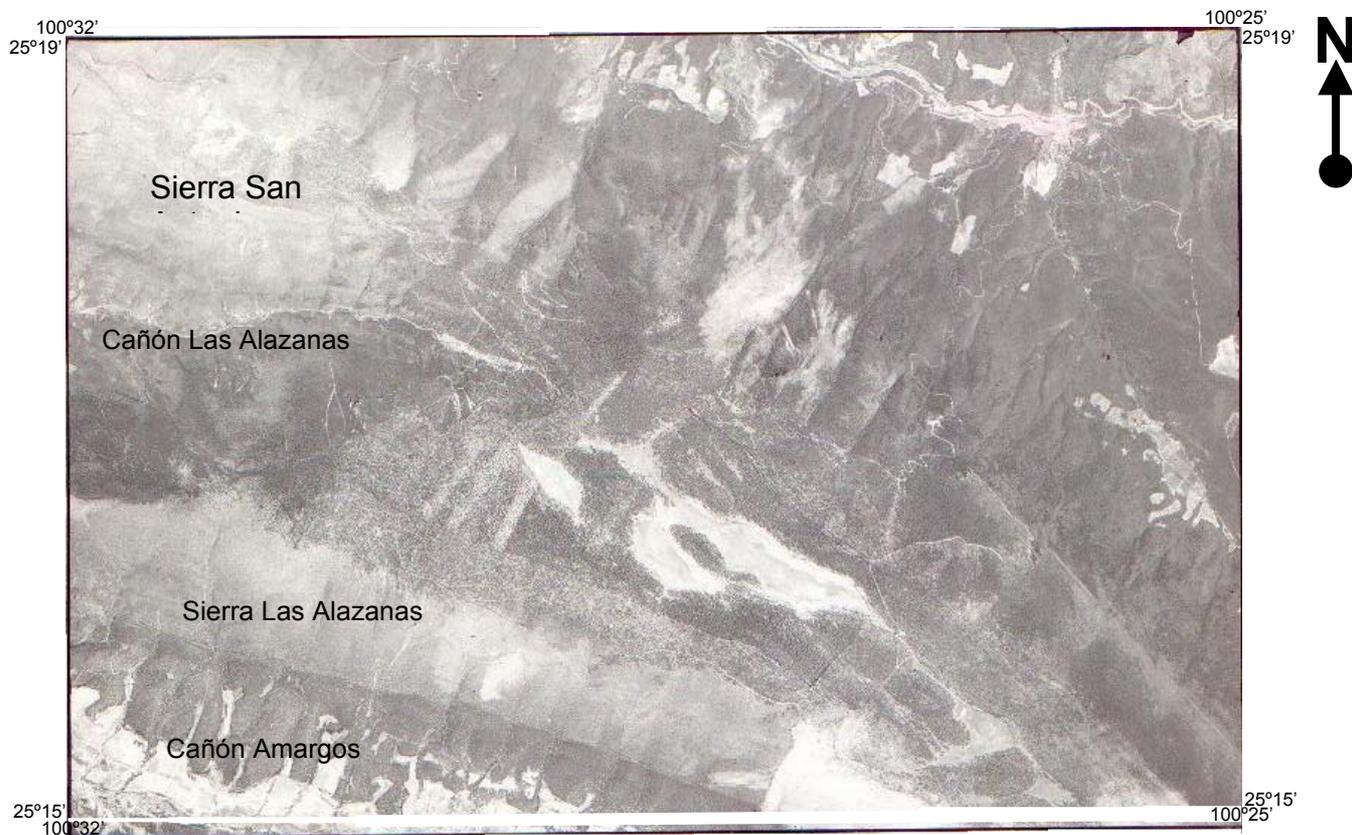


Figura 1. Ubicación del área de estudio.

Caracterización del área de estudio

Topografía

El área se encuentra en prominentes ejes estructurales de anticlinales y sinclinales, en estratos plegados de calizas. La orografía presenta sistemas de topoformas designados generalmente como pliegues flexionados. Se localizan también bajadas con sierras, sierras pliegue y valles intermontanos, con presencia de orientaciones este-oeste y noreste-sureste, en exposiciones suroeste y noreste. Las pendientes son muy variables, localizándose pendientes ligeras y fuertes entre los rangos de 10 y 100%. Cabe destacar la presencia del “Cañón Amargos” y el “Cañón Las Alazanas”, dentro del área de estudio (CETENAL, 1975).

La parte más alta del área de estudio se localiza dentro de la Sierra Las Alazanas, teniendo exposición cenital y noreste, con una configuración topográfica de meseta y ladera poco pronunciada, localizándose en cotas altitudinales de 3,100 a 3,400 msnm, sobre pendientes de 25 - 50%.

Las partes medias presentan, por lo general, exposiciones suroeste y noreste, así como rangos altitudinales que van de los 2,600 a los 3,100 msnm, con presencia topográfica de laderas con pendientes variadas, pero dominando en la mayoría de 26 a 50%, y en algunas partes con un poco más del 75%. La zona que presenta una topografía más escarpada se encuentra en la ladera

noroeste de la Sierra San Antonio y la menos escarpada se extiende sobre la porción media de la Sierra Las Alazanas.

La parte baja del área presenta una configuración topográfica de ladera entre lomeríos, con pendientes ligeras y moderadas que oscilan entre 0 y 25%, y altitudes que se ubican en las cotas de 2,200 a 2,600 msnm. En esta parte se presentan los rasgos hidrológicos consistentes en corrientes intermitentes, que se conectan a los diferentes arroyos que presenta la zona.

Edafología

El tipo de suelo que predomina en el área de estudio está representado por litosol (leptosol); orden de suelos someros, con menos de 10 cm de espesor, y asociados a éstos, en la parte alta e intermedia, se encuentra el luvisol crómico, con características de mayor fertilidad, más profundo y de color rojizo. En la parte baja se asocian litosoles con otros ordenes de suelos más profundos, con presencia de humus escamoso que se forma en tierras calizas, asociados a rendzinas (lixisol) muy fértiles que presentan un color marrón o marrón oscuro. Cabe señalar que se presentan en menores proporciones los suelos correspondientes al orden castañozem háplico, que se caracteriza por presentar acumulaciones calcáreas moderadas debajo del horizonte A. A estas asociaciones se les une el regosol, que se presenta de manera esporádica en las partes bajas del área y que se caracteriza por estar formado de material suelto, sin ningún horizonte, salvo (posiblemente) un A ócrico (CETENAL, 1976; Gutiérrez *et al.* 1983; Ortiz, 1993).

Los suelos encontrados en el área de estudio presentan diferentes texturas como la fina (luvisol) y texturas medias (litosol, rendzina, castañozem y regosol). Presentan en su mayoría, fase física gravosa, petrocálcica o pedregosa (CETENAL, 1976).

Geología

La naturaleza de los suelos en el área de estudio es, en su mayoría, de origen caliza sedimentaria, con características de rocas marinas calcáreas, y contienen el 90 por ciento o más de óxido de calcio; este tipo se encuentra asociado con brecha sedimentaria, conglomerado que se caracteriza por ser una formación detrítica gruesa con grandes cantos, mezclados con arenas y conchas, y en una porción, se localizan los tipos de roca lutita y aluvión. Generalmente éstas se localizan en las partes bajas del área mencionada (CETENAL, 1976).

Clima

De acuerdo a la clasificación de Koppen, modificado por García (1986), en los mapas de las provincias climatológicas de la República Mexicana, el clima característico del área de estudio corresponde al tipo Cx 'b (e') g, que significa clima templado, subhúmedo, con lluvias escasas todo el año, verano fresco largo, muy extremoso, presentándose el mes más cálido antes de julio.

La temperatura media anual es de 12.7°C y la precipitación media anual es de 470.6 mm, con régimen de lluvias ligeras todo el año, aunque durante los meses de julio y agosto, se acentúan las mayores precipitaciones y disminuyen considerablemente en invierno.

La presencia de heladas ocurre en cualquier época del año, pero son más frecuentes durante los meses de octubre a marzo, con temperaturas extremas de hasta -8°C. En abril, mayo y septiembre, las temperaturas mínimas no sobrepasan de 0°C. En general, se puede decir que no hay incidencia de granizo ni presencia de rocío todo el año (Mendoza, 1983).

Vegetación

El estrato arbóreo en la exposición noreste, entre los 2,100 y 2,200 msnm, se presenta en forma de asociaciones de transición, constituidas por chaparral y algunos manchones de *Pinus spp.* En las cotas altitudinales de 2,200 a 2,600 msnm, hay asociaciones de chaparral mezclado con bosques de los géneros *Abies* y *Pinus*, principalmente, pudiendo presentar dominancia el chaparral o viceversa. De 2,600 a 3,000 msnm, se presenta un estrato arbóreo dominado principalmente por bosques de *Abies*, *Pinus* y *Pseudotsuga*, con pequeñas proporciones de matorral. Entre los 3,000 y 3,300 msnm, se presentan asociaciones de *Abies*, *Pinus*, y *Pseudotsuga*, con algunas áreas de pastizal inducido. Debido a esto, el estrato arbóreo está compuesto principalmente por coníferas como son: *Abies vejari*, *Pseudotsuga flahaulti*, y *Pinus rudis*. El estrato arbustivo se encuentra constituido por una gran

variedad de encinos como son: *Quercus hypoxantha*, *Q. greggii*, *Q. sideroxylla* y *Q. affinis*, también con presencia de *Abies vejari*, *Arbutus xalapensis*, *Crataegus greggiana* y *Rosa woodsii*. La exposición noroeste que se encuentra localizada en el “Cañón Las Alazanas” al nivel de las cotas de 2,600 y 2,800 msnm, presenta asociaciones de matorral y bosque de pino, pero en las cotas altitudes superiores a 2,800 msnm, hay bosques de *Pinus*, *Abies* y otras especies. En la exposición cenital, sobre las cotas altitudinales de 3,200 a 3,400 m, se encuentran principalmente bosques de *Pinus*, *Abies*, y *Pseudotsuga*, con algunas áreas de pastizal inducido. El estrato arbustivo está representado, principalmente, por renuevos de *Abies sp.* y *Pseudotsuga sp.* En estas exposiciones se presentan especies tolerantes e intolerantes a la sombra debido a la mayor humedad, así como a suelos más profundos, que caracterizan a las exposiciones norte y cenital. En la exposición suroeste, entre 2,100 y 2,800 msnm, hay asociaciones de bosque de *Pinus* con chaparral y en las cotas de 2,800 a 3,100 msnm, se localiza una zona de transición, principalmente de matorral crasi-rosulifolio espinoso subcaducifolio, con agricultura de temporal. En esta exposición se encuentran grandes superficies cubiertas principalmente por el estrato arbóreo de *Pinus cembroides*, asociado al estrato arbustivo constituido por *Rhus virens*, *Lindleyella mespiloides*, *Quercus sp.*, *Mimosa sp.*, *Sophora secundiflora*, *Dassilyrion sp.*, *Agave sp.*, y *Juniperus monosperma*. Asociados a ellas, se presenta el estrato herbáceo con especies de *Agave falcata*, *A. lechuguilla* y *Agave sp.*; cabe destacar que la distribución de los elementos arrosetados no es uniforme. La exposición suroeste presenta algunas especies similares a la exposición sureste, pero con mucho menor número. La exposición sureste del cañón mencionado, se

encuentra en las cotas de 2,600 a 3,000 msnm, y corresponde a chaparral con bosque de *Pinus* y pastizal inducido. El estrato arbóreo está compuesto por *Pinus cembroides* y el arbustivo sostiene a las especies de *Juniperus monosperma*, *Rhus microphylla*, *Quercus sp.*, *Yucca carnerosana* y *Mimosa sp.*, entre las más sobresalientes (DETENAL, 1979).

Cabe señalar que las principales asociaciones que se encuentran en el estrato arbóreo son de *Pinus-Abies*, *Pinu-Pseudotsuga* y *Pinus-Abies-Pseudotsuga*. Algunas otras asociaciones son chaparral-*Pinus-Abies*, vegetación de tipo matorral crasi-rosulifolio espinoso, así como pastizal inducido; además, se encuentran áreas agrícolas de temporal y riego (DETENAL, 1979).

Metodología

Ordenamiento territorial

Identificación de unidades ambientales. Con apoyo de las cartas edafológica, geológica y topográfica, escala 1:50,000, se hizo una identificación de unidades ambientales; éstas presentaron las mismas características de suelo-geología-exposición, ubicadas a diferentes rangos altitudinales y

combinadas con la vegetación, así como con los porcentajes de pendiente más representativos del área de estudio.

Zonificación forestal

Para la limitación de las diversas zonas que se encuentran en el área de estudio, en primer lugar se ubicó el área general de trabajo en la carta topográfica, escala 1:50,000. Posteriormente se ubicó el área incendiada en 1998, localizada en el área de estudio, la cual integró la zona de restauración. En la misma carta se remarcó la cota de 3,000 msnm para facilitar su identificación, y todas las cotas mayores de 3,000 msnm, así como los terrenos que no se encontraron dentro de esta categoría, pero que presentaron pendientes mayores o iguales al 100%, las cuales conforman la mayor parte de la zona de conservación. Las áreas no incluidas en ninguna de estas dos zonas se les denominará zona de producción con sus respectivas restricciones de calidad de producción (Figura 2).

Las superficies que cubren las zonas que se encuentran localizadas dentro del área de estudio son: 1,762 ha correspondiente a la de restauración, 2,452 ha a la de conservación y 3,058 ha a la de producción.

Diagnóstico general de disturbios en el área

Los agentes de disturbio considerados en el diagnóstico fueron: incendios, pastoreo, clandestinaje, así como plagas y enfermedades. La evaluación de cada uno de ellos se realizó como se señala a continuación.

Incendios

Para la estimación del área dañada por el incendio de copa, registrado el 21 de abril de 1998, ocurrido sobre una parte del área de estudio, se procedió a realizar un recorrido de campo y se ubicó el área disturbada en la carta topográfica escala 1:50,000. Teniendo la ubicación del área afectada en la carta, se procedió a la estimación de la superficie por el método de “malla de puntos”.

Figura 2

Pastoreo

Se realizaron varios recorridos en el área de estudio con la finalidad de observar los efectos del ganado sobre la vegetación y el suelo, y con base en esto, poder predecir o estimar la magnitud del daño causado por éste agente.

Clandestinaje

Se hicieron recorridos de inspección dentro del área de trabajo con el propósito de conocer los diversos puntos sobre los cuales se presentaba más acentuada esta actividad ilícita.

Plagas y enfermedades

Se realizaron recorridos de inspección y evaluación del área arbolada, con el propósito de detectar la presencia de daño por plagas y enfermedades.

Evaluación de la condición actual

Vegetación. Para la evaluación y ubicación de los tipos de vegetación que se encuentran dentro del área de estudio, se utilizó la carta de uso del suelo. Se procedió a estratificar diferentes tipos de vegetación mediante poligonales y una vez diferenciados éstos, se clasificaron en base a numeración decimal según los tipos de vegetación, y en el caso de las asociaciones, éstas se delimitaron en base a la predominancia de la vegetación y se les dio el número correspondiente.

Estudio dasométrico. Para fundamentar la propuesta del programa de manejo, se utilizó información de los estudios dasométricos correspondientes a los siguientes predios del municipio de Arteaga, Coahuila: ejidos Santa Rita y Ciénega de la Purísima y las pequeñas propiedades (P.P.) El Pilar y La Tosca. Además, se utilizó información adicional de programas de manejo forestal de P.P. El Hondable y La Huerta, así como de los ejidos San Antonio de las Alazanas y La Efigenia; también del Rancho El Paraíso y P.P. El Taray (SARH, 1981; Gutiérrez, 1990; Vázquez, 1996; COPAFA, 1999 y Luna, 2000). Además, se utilizaron datos levantados a partir de muestreos realizados en diversos trabajos de investigación realizados por Hernández (1994), López (1997), Hernández (1998) y Nájera (2000). En las áreas que no se alcanzaron

a cubrir con los trabajos mencionados, se realizó una caracterización por similitud de rodales para complementar la información dasométrica faltante.

Fauna. La detección de fauna se hizo por medio de observación directa, a través de recorridos de campo en el área de trabajo y en forma indirecta, mediante observación de huellas y heces fecales. También se realizó entrevistas a los lugareños con el propósito de conocer el tipo de fauna predominante en la zona de estudio.

IV. RESULTADOS Y DISCUSION

Evaluación del recurso

Vegetación

El 12 abril de 1998 dio inicio un incendio forestal en la Sierra de Arteaga, particularmente en el fraccionamiento campestre “Monterreal”, localizado en la “Sierra Las Alazanas”, extendiéndose a través de la cañada “Los Lobos” hasta el ejido Mesa de las Tablas, para continuar su avance sobre las “Sierras Las Alazanas” y el “Coahuilón”. La superficie total afectada en el área de estudio fue de 1,762 ha en la exposición noreste, consumiendo los estratos herbáceo, arbustivo y arbóreo, dentro del que se mencionan las siguientes especies: *Pseudotsuga flahaulti*, *Abies sp.*, *Pinus ayacahuite*, *P. cembroides*, *P. greggii*, *P. rudis*, *Cupressus sp.* y *Juniperus sp.* El siniestro afectó un volumen total

estimado de 91,183 m³, que corresponde al arbolado muerto de las especies mencionadas en la zona de restauración.

El bosque residual ocupa una superficie de 5,510 ha, distribuido en la zona de conservación (2,452 ha) y producción (3,058 ha). Las existencias reales (E.R.) del arbolado correspondiente a los ejidos y pequeñas propiedades que se localizan dentro del área de estudio, estimados según los datos proporcionados por estudios dasonómicos, programas de manejo y trabajos de tesis, se presentan en el cuadro A1. A partir de estos datos, se puede mencionar que para el ejido “San Antonio de las Alazanas”, se reportan E.R. que van de los 28.60 a 81.30 m³/ha, distribuidos en la zona de producción y conservación. Los ejidos La Efigenia y Santa Rita presentan existencias reales de 39.10 a 55.97 y 46.56 a 163.57 m³/ha, respectivamente, y se encuentran dentro de la zona de producción y conservación. La pequeña propiedad El Hondable tiene, E.R. de 26.80 a 39.60 m³/ha, correspondiente a arbolado afectado por el incendio; además, se localiza la P.P. La Armenia con 85.57 a 293.08 m³/ha y El Pilar con E.R. de 30.44 a 63.56 m³/ha. Para la P.P. El Taray se reportan existencias reales de 15.44 a 61.50 m³/ha, localizándose totalmente en la zona de producción, así como la P.P. La Tosca con E.R. de 92.95 a 145.95 m³/ha; además, el Rancho El Paraíso tiene E.R. de 63.10 a 88.77 m³/ha. Para el lote tres, correspondiente a la P.P. Ciénega de la Purísima, se reportan existencias reales de 58.59 a 75.99 m³/ha, y para la P.P. La Huerta, de 39.84 a 58.71 m³/ha. Cabe mencionar que las especies aprovechables son principalmente *Pinus rudis*, *P. ayacahuite*, *P. cembroides*, *Abies vejari* y *Pseudotsuga flahaulti*.

Fauna silvestre

La fauna que se encontraba dentro del área incendiada, en su mayoría pereció o emigró. Debido a la magnitud del evento, así como a las intensidades caloríficas registradas durante la catástrofe, los pocos animales que se lograron salvar se refugiaron en los terrenos circunvecinos de las áreas quemadas.

Las principales especies de hábitos migratorios o residentes, localizadas en el hábitat natural del área de estudio, se presentan en el cuadro 1.

Cuadro 1. Especies de fauna silvestre distribuidas en el área de estudio.

MAMÍFEROS	
Nombre científico	Nombre común
<i>Odocoileus virginianus</i>	Venado cola blanca
<i>Lynx rufus</i>	Gato montes
<i>Urocyon cinereoargenteus</i>	Zorra gris
<i>Mephitis macroura</i>	Zorrillo
<i>Canis latrans</i>	Coyote
<i>Sylvilagus floridanus</i>	Conejo
<i>Siurus sp.</i>	Ardilla
<i>Eutamias dosalis</i>	Hurón
A V E S	
<i>Cathartes aura</i>	Aura
<i>Buteo jamaicensis</i>	Aguililla cola roja
<i>Columba fasciatus</i>	Paloma morada
<i>Colapetes auratus</i>	Carpintero alirrojo
<i>Aphelocoma ultramarina</i>	Azulejo mexicano
<i>Corvus corax</i>	Cuervo
<i>Rynchopsitta terrisi</i>	Guacamaya enana
<i>Sitta pygmaea</i>	Saltapalo
<i>Archilochus sp.</i>	Colibrí
R E P T I L E S	
<i>Crotalus sp.</i>	Víbora de cascabel
<i>Lacerta sp.</i>	Lagartija

Plagas y enfermedades

En la exposición suroeste del área estudiada, el bosque presenta árboles de *Pinus cembroides* atacados principalmente por *Ips mexicanus*; en el estrato arbustivo se encuentra el género *Juniperus*, atacado por *Phthyophthorus sp.* Para la zona correspondiente a la exposición cenital y noreste se presenta *Pinus rudis*, atacado principalmente por *Dendroctonus adjunctus*, también se encuentra *Pseudotsuga flahaulti* con presencia de *Dendroctonus pseudotsugae*. Estas plagas atacan progresivamente a los árboles hasta matarlos y buscan posteriormente otros hospederos, acrecentándose el foco de infección y el daño. *Pinus rudis* también es atacado por el muerdago enano (*Arceuthobium sp.*), causándole malformaciones en ramas y fuste. Este pino presenta, además, roya de los conos (*Cronartium sp.*), provocando una deformación de los conos y por consiguiente, falta de semillas y ausencia de regeneración en las áreas donde se presenta la roya.

El Comité Estatal de Sanidad Forestal (2000) reporta una mortalidad de árboles sobre 74 ha, que se localizan en manchones aislados distribuidos sobre toda la sierra, afectando 47 ha en la exposición suroeste y 19 en la noreste, además de afectar 8 correspondientes al Cañón las Alazanas y Las Hoyas. El arbolado afectado está constituido principalmente por las especies de *Pseudotsuga sp.*, *Pinus cembroides*, *P. pseudostrobus*, *P. rudis*, *P. ayacahuite* y *Cupressus sp.* Las plagas son *Dendroctonus sp.* e *Ips sp.*,

principalmente. Cabe señalar que se reporta un nivel de control de esta plaga del 70% para el área de estudio.

Pastoreo

El pastoreo desordenado que se realiza en el área de estudio y en general en toda la Sierra de Arteaga, es muy alto debido a que en esta zona se pastorea libremente el ganado, sin ningún control y sin ninguna conciencia ecológica. Esta actividad causa muchos daños al renuevo de las diversas especies forestales que se localizan en la zona, ya que lo utilizan como fuente de alimento o lo dañan por el simple pisoteo del ganado, debido a que no se respetan las áreas de regeneración, y por este motivo, van desapareciendo lentamente los bosques. También se encuentran evidencias de árboles ramoneados, principalmente de copas bajas, ocasionándoles con ello el rompimiento de algunas ramas u otro tipo de heridas, que posibilitan la entrada de plagas o enfermedades. El pastoreo deriva en un pisoteo excesivo al suelo, compactándolo significativamente y provocando con ello, la disminución del establecimiento de la vegetación, con el consecuente aumento en las tasas de escorrentías torrenciales sobre el suelo, debido a su baja capacidad de infiltración.

Clandestinaje

La presencia de tala clandestina en la zona de estudio es muy baja, pero cabe señalar que se pueden encontrar algunos indicios, aunque éstos sean mínimos. Las pocas evidencias de talas clandestinas son para uso doméstico, como es la utilización de morillos para la construcción y cercado de terrenos, así como para el uso de la leña como combustible.

Condición actual del ecosistema

La zona de restauración localizada dentro del área de estudio, presenta severos disturbios provocados por la afectación de su cubierta forestal por causa del incendio de copa de 1998; en esta área se genera una mayor presión sobre los recursos naturales asociados, como son el suelo, el agua y la fauna silvestre, llevándolos a una degradación en su calidad y cantidad. Por tal motivo, la eliminación de la vegetación trae consigo una serie de perturbaciones dentro del ecosistema forestal, debido a que todos los recursos que se encuentran son afectados en forma directa o indirecta por el incendio, o por la afectación individual de tales recursos. Los efectos de la erosión del suelo dentro de la zona de restauración son evidentes; éstos pueden ser causados por la lluvia o el viento, además, puede existir una reducción en la fertilidad, así como estabilidad física y estructural. También el área presenta disturbios en su ciclo hidrológico debido a que se encuentra desprotegida de la cubierta forestal, ya que ésta le servía como medio de absorción y retención del agua. La erosión, junto con los escurrimientos, conllevan a una disminución en la calidad y cantidad del agua debido a que se encuentran partículas de suelo

suspendida en ella (Pesson, 1978; Beltrán, 1989; De la Garza, 1989; Manzilla, 1989; Miller, 1994).

La zona presenta un escenario desolador debido a la ausencia temporal de la vegetación, así como de la fauna silvestre, ya que ésta fue afectada directamente por el incendio, destruyéndole sus áreas de migración, de reproducción y de refugio, así como sus recursos alimenticios, además de restringir la diversidad y abundancia de los animales.

Cabe mencionar que dentro del área incendiada hay algunos manchones pequeños que presentan rebrotes de encino (*Quercus sp.*) y de chaparro prieto (*Ceanothus greggii*). Aunque en la mayoría del área incendiada, por la magnitud del daño y por el afloramiento rocoso a causa de la erosión hídrica y eólica, no se ha presentado un substancial recubrimiento vegetativo. Además, dentro de las pocas áreas con rebrotes, se pueden observar indicios de presencia de fauna silvestre, como es el caso de algunas aves y pequeños mamíferos.

Propuesta de restauración ecológica y manejo forestal

Restauración del suelo

Debido a los efectos erosivos del agua y el viento, es necesario implementar medidas correctivas para mitigar o disminuir en gran medida los

efectos negativos provocados al suelo. Enseguida se describen las actividades propuestas para la zona de restauración.

a) Efectuar reforestaciones a largo plazo sobre una superficie de 1,530 ha, ejecutándose éstas por etapas a razón de 150 ha por año, con el propósito de cubrir la totalidad de la zona de restauración en un período de 10 años. Las plantaciones pueden regirse bajo las siguientes especificaciones técnicas: utilizar un diseño de plantación “marco real” con separación entre plantas e hileras de 2.5 m; las líneas podrán establecerse siguiendo el contorno del terreno sobre curvas de nivel. La densidad que se recomienda es de 1,600 plantas por hectárea, ya que se trata de disminuir la erosión, corrientes torrenciales, fomentar la recarga del acuífero y posteriormente, mejorar el hábitat de la fauna silvestre.

Se recomienda establecer la plantación utilizando el método de “cepa común” con microcuenca (30X30 cm), levantando bordos en forma de media luna sobre la parte baja de la pendiente de cada cepa; ésto, para cosechar el agua de escorrentía (Figura A1). Las especies a utilizar son: *Pinus pseudostrabus*, *P. cembroides*, *P. rudis*, *P. ayacahuite* y *Pseudotsuga flahaulti*.

b) Para la retención del suelo y recarga de acuíferos se propone la construcción de 30 represas de ramas o morillos (Figura A2 y A3) y de rocas sueltas (Figura A4); esto, por la facilidad de conseguir el material que componen estas represas y por la dificultad que implicaría realizar otras obras que requieran distintos materiales. Tales represas se establecerán entre las

cotas de 2,400 a 2,700 msnm. Además, se propone que en las cotas por debajo de 2,400 msnm, se establezcan 20 gaviones (4.0X2.0X0.5 m) (Figura A5). Estas obras deberán ubicarse en los principales escurrimientos naturales del área propuesta como zona de restauración. En las cotas de 2,800 a 3,100 msnm, sobre la exposición noreste, se localiza un área con pendientes del 100 por ciento, cubriendo una superficie de 232 hectáreas, la que debido a sus condiciones fisiográficas y de difícil acceso, se dejaría para que la recuperación sea en base a la sucesión natural (Figura 3).

También pueden efectuarse las siguientes acciones que contribuirían a restaurar el suelo:

- ❖ En el corto plazo, tumbar los árboles quemados durante el incendio, con el fin de colocarlos perpendicularmente a la pendiente del terreno para que sirva como retén del suelo; de preferencia cada tres a cinco metros, principalmente en los terrenos con mayor pendiente y más propensos a la erosión por lluvias.
- ❖ Se recomienda la siembra de *Poáceas* (gramíneas) para tapizar el suelo y disminuir la erosión, principalmente con las especies de *Muhlenbergia virescens*, *Bouteloua curtipendula*, *Eragostris sp.*, y algunas más del género *Stipa*, que son nativas de esos lugares; el problema se centrará en la colecta de semillas.
- ❖ Debiera establecerse una cubierta vegetal de herbáceas, con especies nativas de altura como algunos *Quercus* nativos, el “Chaparro prieto”

(*Ceanothus greggii*) y “veza de invierno” (*Vicia sativa*), de acuerdo con la disponibilidad de semilla.

- ❖ Se sugiere estabilizar los suelos mediante la construcción de contenedores y represas filtrantes, utilizando materiales arbustivos y arbóreos afectados por el incendio, así como materiales pétreos, en forma de retenidas paralelas y perpendiculares a la pendiente general de las laderas.

Restauración de la vegetación

La restauración se plantea considerando que se debe llegar a una vegetación estable y permanente, en equilibrio con las condiciones del medio y que sea lo más evolucionada posible, de tal forma que presente adecuadas interrelaciones con el ecosistema; todo esto en función de su composición y estructura (Figura 4).

Por lo tanto, es necesario llevar acabo la recolección de germoplasma de la vegetación circundante al lugar afectado por el incendio forestal, con la finalidad de producir plantas que sean adecuadas a ese medio, para el establecimiento de plantaciones que permitirán una restauración más rápida. Para garantizar el éxito en el establecimiento de las plantaciones futuras del área, es necesario utilizar especies que antes del incendio se desarrollaban en esa localidad, tales como: *Pinus pseudostrobus*, *P. rudis*, *P. ayacahuite* y *P. cembroides*.

Figura 3

Figura 4

Restauración de la fauna

Proporcionar una arquitectura apropiada del componente vegetal del ecosistema alentaría el establecimiento de la fauna silvestre (Chávez, 1996).

Los rebrotes que se presentan después del incendio, dan pauta para que algunas aves y roedores visiten el área sólo con fines de alimentación, ya que para tener un hábitat para la vida silvestre todavía no es muy propicio debido a la escasa vegetación y a las condiciones del suelo. Por lo tanto, es necesario restablecer la vegetación por medio de plantaciones y mantener algunas áreas de pastos con doble fin, como el detener la erosión y proveer de alimento a la fauna. Es necesario establecer algunas cajas para nidos de aves en diferentes partes del área con el propósito de fomentar la colonización y con esto, aprovechar el transporte de semillas a través de algunas especies de aves y mamíferos.

Prevención de incendios forestales

Con el fin de implementar acciones encaminadas a la prevención de incendio forestales, se propone lo siguiente:

- ❖ Crear un impuesto por hectárea, cuyos fondos se entreguen al organismo local responsable de la protección del recurso.
- ❖ Establecer disposiciones legales por medio de las cuales se exija a los propietarios particulares, que establezcan medidas que garanticen al menos, la organización necesaria para la mínima protección al recurso.
- ❖ Dar carácter legal a la cooperación con las asociaciones particulares de protección forestal, mantenidas con fondos privados (FAO, 1953).

- ❖ Implementar una campaña de concientización y capacitación forestal en las comunidades forestales del municipio de Arteaga, acerca de la importancia de los recursos forestales, así como la prevención y combate de incendios forestales.

Costos del proyecto

Los costos que implica la reforestación y la creación de las obras se plasman en los cuadros 2 y 3.

Cuadro 2. Costos por hectárea de la reforestación.

ACTIVIDAD	COSTO POR HECTÁREA (\$).
Cercado del terreno	700.00
Desmonte y limpieza	300.00
Costo de la planta	2800.00
Preparación del terreno (cepas)	1600.00
Plantación	1200.00
Acarreo	500.00
Replante	300.00
Labores culturales	300.00
Costo total por hectárea	6,500.00
Costo total por año (150 ha)	975,000.00
Costo total de las 1530 ha	9'945,000.00

Cuadro 3. Costos de las obras de ingeniería para la zona de restauración.

OBRAS DE INGENIERÍA	COSTOS PARA LA ZONA DE RESTAURACION		
	Costo unitario (\$)	Número de obra	Costo total (\$)
Represas de ramas	1,000.00	10	10,000.00
Represas de morillos	1,000.00	10	10,000.00
Represas de piedra acomodada	1,000.00	10	10,000.00
Gaviones	2,000.00	20	40,000.00
Costo total			70,000.00

Manejo del bosque residual

Se utilización del método del método de selección individual para la zona bajo estudio y en las cotas altitudinales de 3,000 a 3,400 msnm, se proponen intervenciones con intensidades de corta bajas (10 – 15%), debido a que sólo se removerán árboles que presenten decrepitud, estén plagados o que por algún daño se tenga la necesidad de removerlos, ya que representan un peligro de infestación al bosque. Lo anterior está encaminado, principalmente, hacia un manejo fitosanitario del área, más que un aprovechamiento con fines comerciales, debido a las características del arbolado a remover y a las condiciones topográficas del lugar, porque esas cotas presentan pendientes fuertes y también grandes superficies de llanos y lomeríos ligeros. Las intervenciones serán bajas, por consideración de las pendientes y cotas altitudinales, donde por ley, se restringe el aprovechamiento comercial. A través del manejo se tratará de asegurar la conservación del recurso.

A las áreas arboladas que se encuentran abajo de la cota de 3,000 msnm, ubicadas en la zona de producción, se les aplicarán intensidades de corta de 20 a 30%. El aumento en la intensidad de corta se debe a que disminuye la pendiente del terreno y por lo tanto, el grado de susceptibilidad de disturbio en los recursos asociados del bosque. Cabe señalar que podrán ser extraídos árboles en forma aislada, garantizando con esto, disminuir al máximo el riesgo de algún impacto negativo al recurso. Por lo anterior, en esta zona se extraerán los árboles más grandes y viejos, enfermos, plagados, mal conformados y dañados, con propósitos fitosanitarios y con carácter comercial, para los productos obtenidos a partir del arbolado removido durante la intervención.

Es necesario analizar cuidadosamente los datos que se presentan en los estudios dasométricos, así como la ubicación de los predios, ya que en su mayoría corresponden a la zona de conservación, por lo que las intervenciones silvícolas deben realizarse por única vez y con fines no comerciales en esta zona, debiendo ser cortas de mejoramiento y de sanidad, con intensidades de remoción bajas a fin de mejorar la condición del bosque residual y la estabilidad del ecosistema.

Justificación del método propuesto

El método de ordenación empleado para este programa de manejo forestal será de selección, encaminado a obtener un mejoramiento en las condiciones sanitarias y de calidad de los rodales, eliminando individuos viejos, enfermos, mal conformados o dañados, así como a mantener las condiciones de incoetaneidad del bosque, manteniendo un equilibrio entre las categorías diamétricas de los rodales. Una vez “normalizadas” estas categorías, se espera un reclutamiento continuo de una categoría a otra y una regeneración más o menos constante, que permita un rendimiento sostenido y proporcione un volumen constante de madera aprovechable, según lo determinen los cálculos de la posibilidad anual por rodal o por localidad, en relación con el incremento volumétrico de los mismos. Este método permite determinar aspectos relacionados con el cuanto, cómo y donde extraer los volúmenes apropiados, a efecto de planificar convenientemente las actividades

propias de su manejo y con ésto, asegurar su permanencia y mejoramiento de su capacidad productiva.

Unidades ambientales

En el área de estudio se formaron 16 unidades ambientales en las que se limitan áreas homogéneas con respecto a edafología, geología y exposición (Figura 5). Posteriormente, se combinaron estas unidades ambientales con rangos de pendientes, cota altitudinal y vegetación.

Las unidades ambientales que tienen exposición noreste son la 1, 2, 3, 4 y 5. La unidad 1 es la mayor distribuida, localizándose de 2,200 a 3,400 msnm, mientras que las unidades 2, 3 y 4 se localizan en las cotas de 2,200 a 2,600 msnm

Figura 5

y la 5, de 3,000 a 3,200 msnm. En todas se encuentran diversas asociaciones de chaparral combinado con bosque de *Abies*, *Pinus* y otras especies, principalmente. La unidad 5 también presenta pastizal inducido. Para la exposición noroeste se encuentra sólo una unidad ambiental, que es la número 6, comprendida entre los 2,600 y 3,200 msnm, con predominancia de bosque de *Pinus*, *Abies*, y otras especies. En la exposición cenital, se ubican 2 unidades, la 7 y 8, localizadas entre las cotas altitudinales de 3,100 a 3,400 msnm, existiendo diferencias en la vegetación entre una y otra; la unidad 7 se caracteriza por presentar un bosque de *Pinus spp.*, *Abies sp.*, y otras especies, con presencia de chaparral, mientras que la unidad 8 está utilizada únicamente para el cultivo de pastizal inducido. La exposición suroeste presenta 6 unidades ambientales que son la 9, 10, 11, 12, 15 y 16. La unidad 9 se caracteriza por presentar

distribución de 2,800 a 3,200 msnm, con asociación de chaparral y bosque de coníferas. Las unidades 10, 11 y 12 se encuentran en cotas menores de los 2,800 msnm, con presencia de bosque de *Pinus spp.*, pastizal inducido y agricultura de temporal con cultivos anuales. Las unidades 15 y 16 presentan la misma vegetación pero en cotas menores a los 2,200 msnm. Las unidades 13 y 14 se localizan en la exposición sureste, en cotas de 2,600 a 3,200 msnm, con poblaciones de chaparral para ambas unidades. La unidad 13 presenta, además, pastizal inducido y la 14, bosque de coníferas (Figuras 6 y 7).

En las unidades ambientales 7, 8, 10, 11 y 12, se presentan pendientes de 0 a 25%, con algunas variaciones para la unidad 10, que llega a alcanzar hasta un 50%. Para las unidades 1, 2, 3, 4, 5, 6, 9, 13, 14, 15 y 16, se presentan pendientes del 26 al 50%, resaltando una parte de la unidad 1 con pendientes del 51 al 100% (Figuras 8 y 9).

Cabe señalar que la exposición noreste fue la que presentó el incendio de 1998, el cual afectó a toda la vegetación existente; aunque tal efecto se acentuó en las unidades ambientales 1, 2 y 3.

Figura 6

Figura 7

Figura 8

Figura 9

V. CONCLUSIONES

1. La estabilización del suelo mediante reforestación y las obras de ingeniería propuestas, permitirán el control de la erosión, el aumento de la infiltración y la recarga del acuífero.
2. Con el restablecimiento de la vegetación forestal se iniciará en forma natural la recolonización de especies nativas, y se tendrá un mejoramiento del hábitat para la fauna silvestre.
3. Se necesita la utilización de pastos que cubran el suelo inmediatamente para minimizar la erosión del suelo.
4. La zonificación forestal da la pauta para diferenciar las diversas zonas que se encuentran en el área de estudio, y con ésto, se establecen las bases para un manejo más adecuado a cada una de ellas.
5. La diferenciación del terreno en unidades ambientales es una buena alternativa para la planeación de las actividades agropecuarias y forestales.
6. Con el uso del método de selección, se prescribe una extracción del 20 – 30% de las existencias reales volumétricas, debido a que es un método

conservador y con éste se mantiene la estructura irregular del bosque y se causa el menor impacto al ambiente.

7. El aprovechamiento propuesto para el área de conservación, con extracción del 10 al 15% de las existencias reales del volumen, tiene la finalidad de mejorar al bosque, con remoción de arbolado por única vez, y no de tipo persistente y comercial.
8. La restauración de las áreas forestales siniestradas es una acción costosa, que implica la participación de los tres niveles de gobierno, de los propietarios y de la sociedad en general.

VI. RECOMENDACIONES

1. Impulsar la participación de los habitantes de los ejidos circunvecinos a la zona de restauración, para que apoyen los trabajos de plantación, así como de las obras de ingeniería a implementar; esto, con el propósito de disminuir los costos de la restauración.
2. Conjugar el apoyo de instituciones públicas y privadas, asociaciones de productores y organizaciones no gubernamentales, a fin de constituir un fideicomiso para el financiamiento de los trabajos propuestos.
3. Establecer convenios de colaboración entre la Presidencia Municipal, ejidos, universidades e instituciones de investigación; lo anterior es con el objetivo de desarrollar un programa de capacitación sobre reforestación y otras actividades de restauración, a fin de mejorar la eficiencia operativa y lograr los objetivos planteados.
4. Iniciar un programa de recolección de germoplasma y producción de planta de calidad, de las especies nativas a utilizar en los trabajos de reforestación.
5. Modificar los programas de manejo forestal vigentes para adecuarlos al esquema de restauración y manejo propuesto.

VII. LITERATURA CITADA

Aguirre, C. 1981. Efectos del fuego en algunas propiedades físicas de suelos forestales. Boletín No. 5. UACH, México. 73 p.

- Alanís M., H.E., M. Cano R. y J. Sánchez C. 1993. Efecto de tres intensidades de fuego en el escurrimiento superficial en un rodal de *Pinus arizonica* Engelm. I Congreso Mexicano sobre Recursos Forestales. Saltillo, Coah., México. pp. 61 – 62.
- Anderson, D.A. and Smith, W.A. 1970. Forest and Forestry. Ed. Printer & Publisher Inc. U.S.A. 333 p.
- Beltrán, E. 1989. El bosque: binomio ecológico. Memoria del Congreso Forestal Mexicano. Tomo II. México. pp. 576 – 580.
- Ben S., B. 1985. El papel de la actividad forestal en el combate de la desertificación. IX Congreso Forestal Mundial. SARH. Tomo II. México. 254 p.
- Bonilla B., R. 1989. Protección forestal. Memoria del Congreso Forestal Mexicano. Tomo II. México. pp. 676 – 705.
- Brow, A.A. and Davis, K.P. 1973. Forest fire: control and use. Ed. McGraw-Hill Book Company. Second Edition. U.S.A. pp. 60 – 61.
- Cano C., J. 1988. El sistema de manejo regular en los bosques de México. UACH, México. 221 p.
- Carrera M., J.A. 1985. Lucha contra la erosión. La experiencia española. IX Congreso Forestal Mundial. SARH. Tomo II. México. pp. 280 – 285.
- Comisión de Estudios del Territorio Nacional (CETENAL). 1977. Carta Edafológica G14C35. San Antonio de las Alazanas, Escala 1:50,000, 1ª. Edición. SPP. México.
- Comisión de Estudios del Territorio Nacional (CETENAL). 1976. Carta Geológica G14C35. San Antonio de las Alazanas, Escala 1:50,000, 1ª. edición. SPP. México.

- Comisión de Estudios del Territorio Nacional (CETENAL). 1975. Carta Topográfica G14C35. San Antonio de las Alazanas, Escala 1:50,000, 1ª. edición. SPP. México.
- Comité Estatal de Sanidad Forestal. 2000. Programa emergente de sanidad forestal. Coahuila, México.
- COPAFA, 1999. Programa de Manejo Forestal Modalidad Contingencia de P.P. El Hondable Municipio de Arteaga, Coahuila, México.
- Chanphaka, U. 1985. Manejo de cuencas y control de la erosión, conservación del suelo y agua. IX Congreso Forestal Mundial. SARH. Tomo II. México. pp. 619 –620.
- Chávez L., G. 1996. Principios, conceptos y consideraciones de restauración ecológica. Ciencia Forestal. INIFAP. 21(80). México. pp. 3 – 24.
- Cruickshank G., G. 1985. Proyecto Texcoco. IX Congreso Forestal Mundial. SARH. Tomo II. México. pp. 635 – 638.
- De la Garza G., G. 1989. El papel ecológico de las masas forestales, sus interrelaciones con el resto de los componentes de los ecosistemas y la importancia de su conservación y adecuado aprovechamiento. Congreso Forestal Mexicano. Tomo II. SARH. México. pp. 567 – 572.
- Dirección de Estudios del Territorio (DETENAL). 1979. Carta Uso de Suelo G14C35. San Antonio de las Alazanas, Escala 1:50,000, 1ª. edición. SPP. México.
- FAO. 1953. Métodos de lucha contra los incendios forestales. Estudios de silvicultura y productos forestales. Boletín No. 5. USA. 118 p.

- Figuroa V., D. 1990. Mitigación de impactos hidroambientales en la cuenca del Río "Las Huertas", Mich., El Agua en el Manejo Forestal. Memorias del Primer Simposio Nacional. UACH. México. pp. 96 – 112.
- Foster, A.B. 1967. Métodos aprobados de conservación de suelos. 1ª. edición. Ed. Trillas. México. 409 p.
- García C., J. 1989. Los sistemas vitales suelo, agua y bosque: su degradación y restauración. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. 3(89). España. 19 p.
- García C., X., B. Rodríguez S. y J. Chavelas P. 1992. Regeneración natural en sitios afectados por el huracán "Gilberto" e incendios forestales en Quintana Roo. Ciencia Forestal. INIFAP. 17(72). México. pp. 75 – 100.
- García de M., E. 1986. Apuntes de climatología. UNAM. México. 155 p.
- Graham, K. 1963. Concepts of Forest Entomology. Ed. Reinhold. U.S.A.
- Gutiérrez P., A. 1979. Importancia de los bosques. Bosques y Fauna. Dpto. de Divulgación Forestal. SARH. 2(4). México. pp. 24 – 33.
- Gutiérrez, R.J., N. Camacho y R. Naranjo M. 1983. Glosario de recursos naturales. Editorial Limusa. 1ª. edición. México. 314 p.
- Gutiérrez T., E. 1990. Ajuste dasonómico de la P.P. El Pilar. Unidad de Conservación y Desarrollo Forestal No.1, Arteaga, Coahuila, México.
- Harold, W. y Hocker, Jr. 1984. Introducción a la biología forestal. AGT Editor, S.A., 1ª. edición. México. 433 p.
- Hernández G., H.G. 1998. Análisis dasométrico y financiero de un bosque de *Pinus rudis* Endl., sujeto a dos intensidades de aclareo en Arteaga, Coahuila. Tesis profesional UAAAN. Saltillo, Coahuila. México. 106 p.

- Hernández M., J. 1994. Estructura y crecimiento de un bosque de *Pinus* después de un aclareo en Arteaga, Coahuila. Tesis profesional. UAAAN, Saltillo, Coahuila, México. 107 p.
- López T., A. 1997. Regeneración natural en un bosque de *Pinus rudis* Endl. sujeto a diferentes intensidades de corta en Arteaga, Coahuila. Tesis profesional. UAAAN, Saltillo, Coahuila, México. 117 p.
- Luna E., T. 2000. Programa de manejo forestal de la P.P. "La Efigenia", Arteaga, Coahuila. Consultoría e Ingeniería Forestal y Ambiental. México. 54 p.
- Luna E., T. 2000. Programa de manejo forestal del ejido "La Huerta", Arteaga, Coahuila. Consultoría e Ingeniería Forestal y Ambiental. México. 54 p.
- Manzilla B., H. 1989. Impacto ambiental por actividades forestales y agropecuarias. Memoria del Congreso Forestal Mexicano. Tomo II. México. pp. 632 - 635.
- Mendoza B., M.A. 1983. Conceptos básicos de manejo forestal. Editorial Limusa. 1ª. edición. México. 118 p.
- Mendoza H., J.M. 1983. Diagnóstico climático para la zona de influencia inmediata de la UAAAN. México. pp. 153 – 157.
- Miller, G.T. 1994. Ecología y medio ambiente. Grupo Editorial Iberoamericano. 1ª. edición. México. 827 p.
- Ministerio de Medio Ambiente. 1998. Restauración hidrológico forestal de cuencas y control de la erosión. Ingeniería Medio Ambiental. Ediciones Mundi-Prensa. 2ª edición. España. pp. 551 – 640.

- Nájera C., J.A. 2000. Efecto de Tres Tratamientos Silvícolas Sobre el Microclima y la Regeneración en un Bosque de *Abies-Pseudotsuga-Pinus*, en Arteaga, Coahuila. Tesis de Maestría. UAAAN, Saltillo, Coahuila. México. 173 p.
- Nebel, B.J. y Wriugh., R.T. 1999. Ciencias ambientales: Ecología y Desarrollo Sostenible. Prentice Hall. 6ª edición. México. 698 p.
- Ortíz S., C.A. 1993. Actualización del mapa de suelos de México de acuerdo a la leyenda FAO-UNESCO-ISRCI. Escala 1:5,000,000. Colegio de Posgraduados, México. 17 p.
- Packer, P.E. and Williams, B.D. 1976. Logging and prescribed burning effects on the hidrology and soil stability behavior of larch douglas fire forest in the northern rocky mountains. Proc. Tall Timbers Fire Ecology. Missoula, Montana, U.S.A.
- Parmenter, R.R. and MacMohon, J.A. 1983. Factors determining the abundance and distribution of rodents in a shrub-steppe ecosystem: the role of shrubs. U.S.A. pp. 145 – 156.
- Perez-Soba B., A. 1983. La restauración hidrológico-forestal de cuencas. Primeras Jornadas Forestales Hispano-Mexicanas. SARH, México. pp. 80–98.
- Pesson, P. 1978. Ecología forestal. Ediciones Mundi-Prensa. España. 389 p.
- Pimentel B., L., y Torales A., C. 1990. Salvemos el acuífero de Texcoco. Memorias del Primer Simposio Nacional: el agua en el manejo forestal. UACH, México. pp. 146 –165.
- Pritchett, W.L. 1986. Suelos forestales. Ed. Limusa. 1ª. edición. México. 627 p.

- Rodríguez S., B., X. García C. y A. Gutiérrez B. 1993. Efecto del fuego sobre algunos microorganismos en un sitio de plantación forestal. *Ciencia Forestal*. INIFAP. 18(73). México. pp. 57 – 76.
- Rodríguez T., D.A. 1996. *Incendios Forestales*. Editorial Mundi-Prensa. 1ª edición. México. 630 p.
- Sánchez C., J. 1989. Los incendios forestales y la prioridades de investigación en México. *Congreso Forestal Mexicano*. Tomo II. SARH. México. pp. 719 – 723.
- SARH. 1981. *Estudio dasonómico de ocho ejidos en la Sierra de Arteaga, Coahuila*. México.
- SARH. 1977. *Hacia la conciencia forestal*. México. 219 p.
- Seoanez C., M. 1998. *Ecología industrial: ingeniería medioambiental aplicada a la industria y a la empresa*. Ediciones Mundi-Prensa. 2ª edición. España. 522 p.
- SEP. 1982. *Producción forestal*. Ed. Trillas. 1ª edición. México. 134 p.
- Spurr, S.H. y Barnes, B.V. 1982. *Ecología forestal*. AGT Editor, S.A., 1ª edición. México. 681 p.
- Taylor, A.R. 1977. "Lightining and trees", in *Lightining Protection*. Vol. 2. E.A. Golde (Ed.). Academic Press, Londres.
- United States Departament of Agriculture. 1978. *Effect of fire on water*. Forest Service. Denver, Co. 28 p.
- United States Departament of Agriculture. 1955. *Ecological effects of forest fire in the interior of Alaska*. Technical Bulletin No. 1133. 116 p.

- Vazquez M., F.J. 1996. Programa de manejo forestal de San Antonio de las Alazanas, Arteaga, Coahuila, México.
- Verduzco, G.J. 1974. Combate de incendios forestales. México. 80 p.
- Walstad, J.D., S.R. Radosevich and D.V. Sandberg. 1990. Natural and prescribed fire in pacific northwest forest. Oregon State University Press. U.S.A. 313 p.
- Wenger, K.F. (Ed.). 1984. Forestry hadbook. 2nd edition. Johh Wiley & Sons. Inc. U.S.A. 1335 p.
- Whelan, R.J. 1995. The ecology of fire. First Published. Cambridge University Press. U.S.A. 345 p.
- Young, R.A. 1991. Introducción a las ciencias forestales. Ed. Limusa. 1^a. edición. México. 611 p.

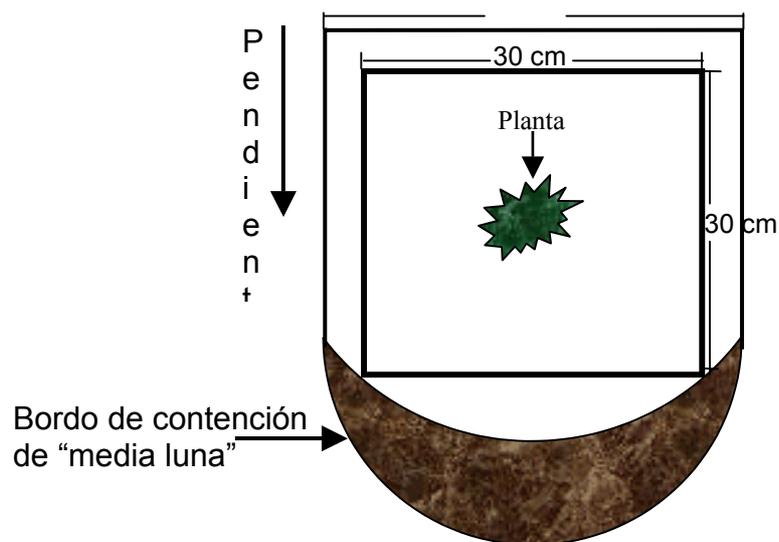
VIII. APÉNDICE

Cuadro A1. Información dasométrica del área de estudio

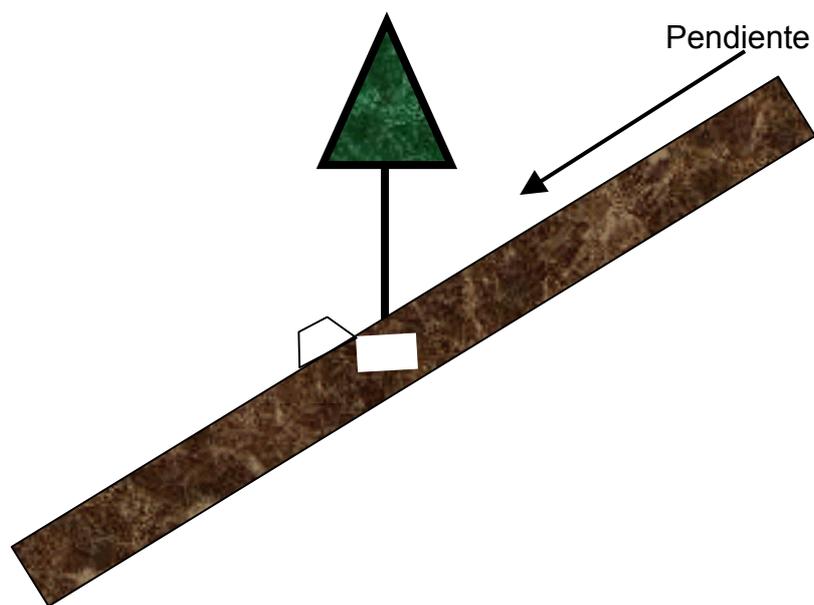
NOMBRE DEL PREDIO	RANGO DE LAS EXISTENCIAS REALES (m³/ha)	EDAD (Años)	SUPERFICIE (ha)
Ejido San Antonio	28.60 – 81.30	39 - 64	426
Ejido La Efigenia	39.10 – 55.97	48 - 77	220
Ejido Santa Rita	46.56 – 163.57	24 - 179	450
P.P. El Hondable	26.80 – 39.60	-----	75
P.P. La Armenia	85.57 – 293.08	-----	-----
P.P. El Pilar	30.44 – 63.56	53 - 55	421
P.P. El Taray Lote 2	15.43 – 61.49	51 - 72	297
P.P. La Tosca	92.95 – 145.95	38 - 45	35
Rancho el Paraíso	63.10 – 88.77	58 - 64	103
Lote 3 Exhacienda Ciénega de la Purísima.	58.59 – 75.99	43 - 47	63
P.P. La Huerta	39.83 – 58.71	50 - 72	204

Figura A1. Diagrama del sistema de cepa común con microcuencia.

40 cm



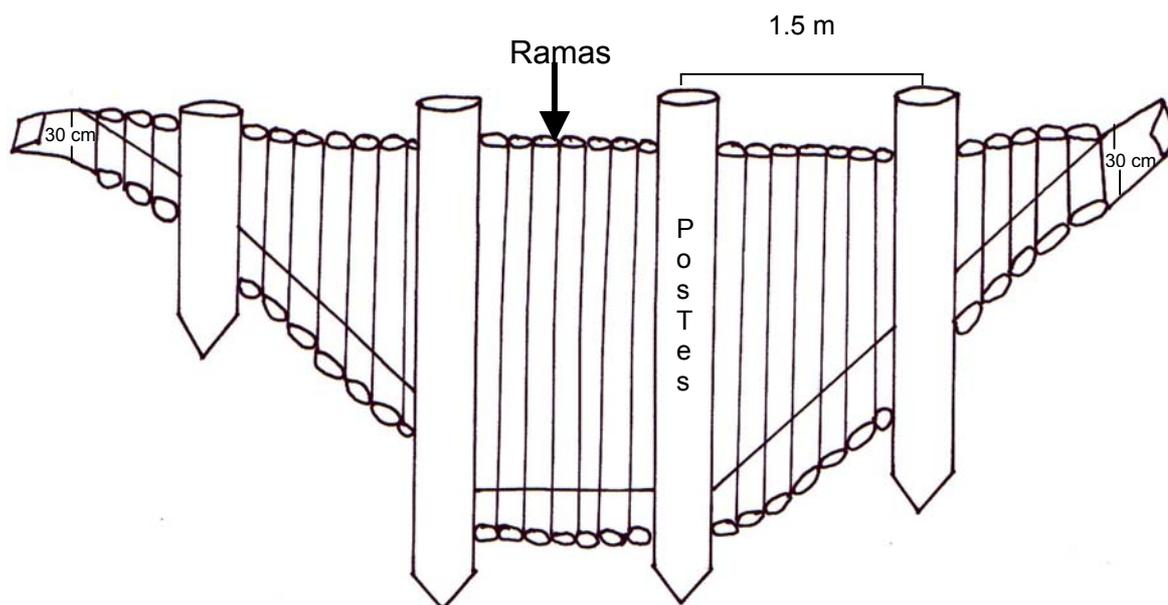
(A) Planta



(B) Corte

Figura A2. Diagrama de una presa de ramas (Modificado de Foster, 1967).

Presa de ramas.

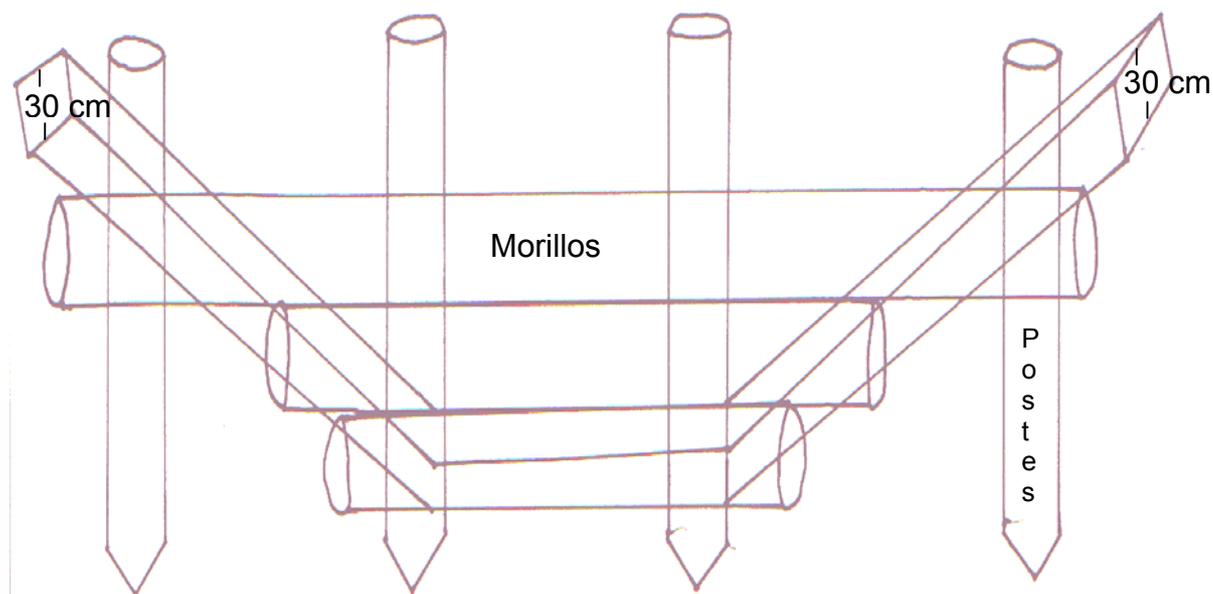


Procedimiento de construcción

- 1) Se abre una zanja perpendicular a la dirección de la pendiente, con dimensiones de 30 cm de ancho por 30 de profundidad.
- 2) En la zanja se colocan postes a una separación de 1.5 m, que se profundicen más de 30 cm.
- 3) La zanja se rellena con ramas pequeñas, las cuales se colocan en capas muy juntas ente sí, con las puntas del ramaje hacia abajo.
- 4) Todas las ramas se sujetan con alambre para mayor resistencia.

Figura A3. Diagrama de una presa de morillos (Modificado de Foster, 1967).

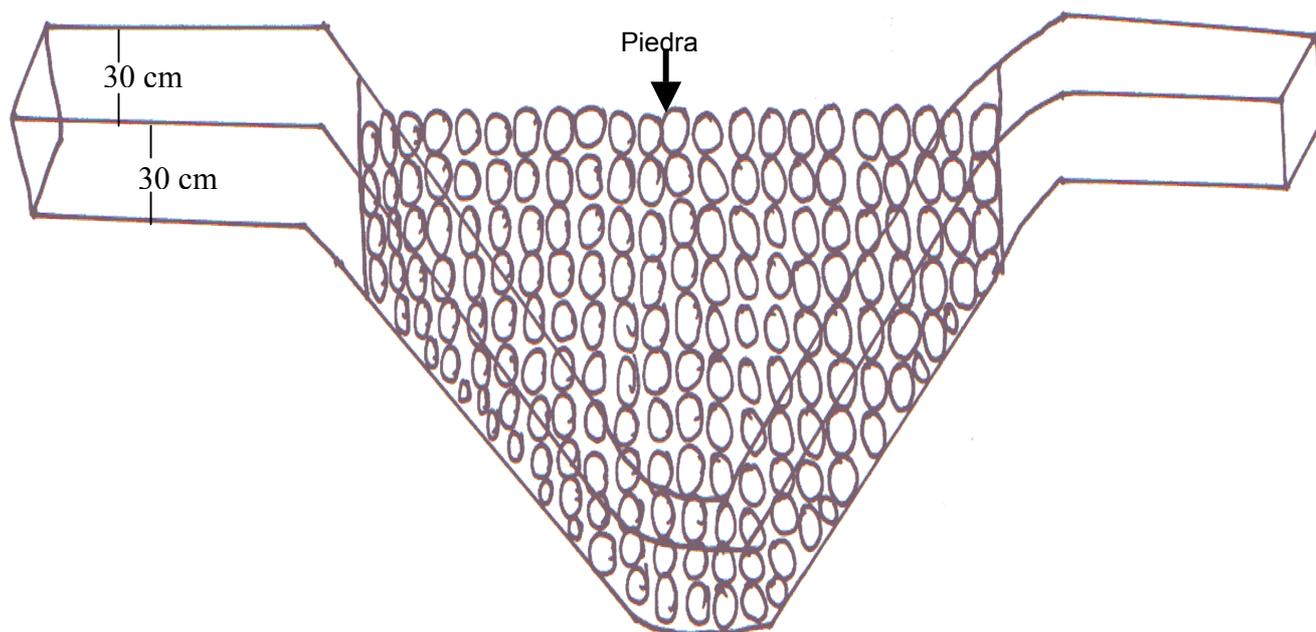
1.5 m



Procedimiento de construcción

- 1) Se repiten los pasos uno y dos de la presa de ramas.
- 2) Se rellena la zanja con tierra y ramas, tratando de formar un pequeño terraplén.
- 3) Se levanta una barrera de morillos colocados uno sobre otro; éstos deben estar clavados y sujetos con alambre.

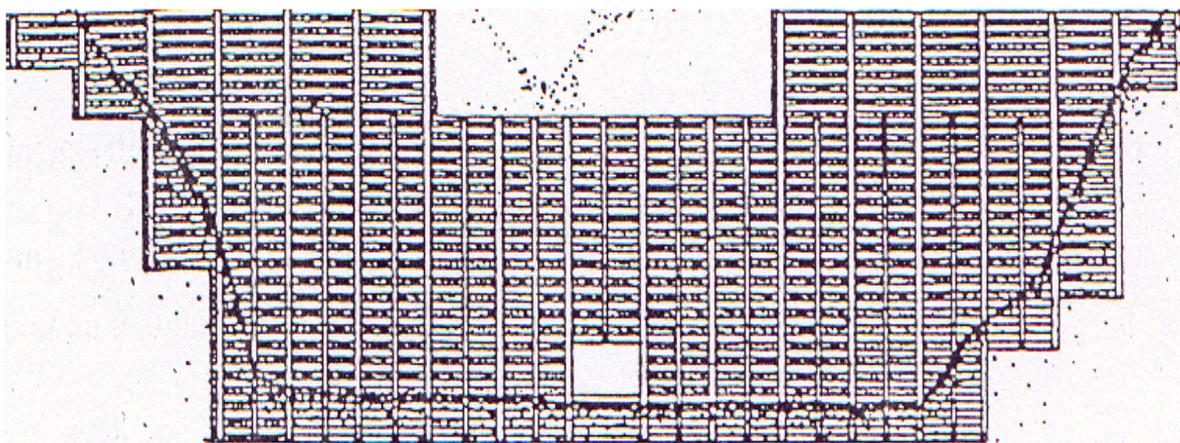
Figura A4. Diagrama de una presa de piedra acomodada (Modificada de Foster, 1967).



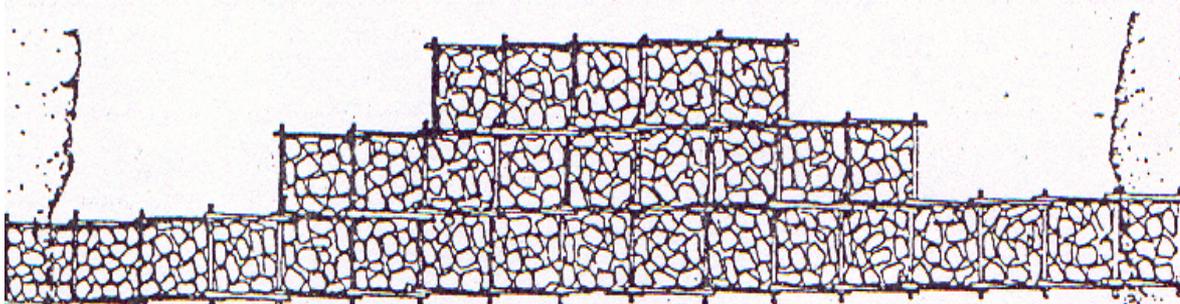
Procedimiento de construcción

- 1) Se sigue el paso número uno y dos de la construcción de presas de ramas y morillos.
- 2) La zanja se rellena con piedra para formar la cimentación y posteriormente se van colocando hileras de piedras a una altura máxima de dos metros.
- 3) Se sujetan las piedras con malla de alambre para darle una mayor estabilidad y resistencia a la presa.

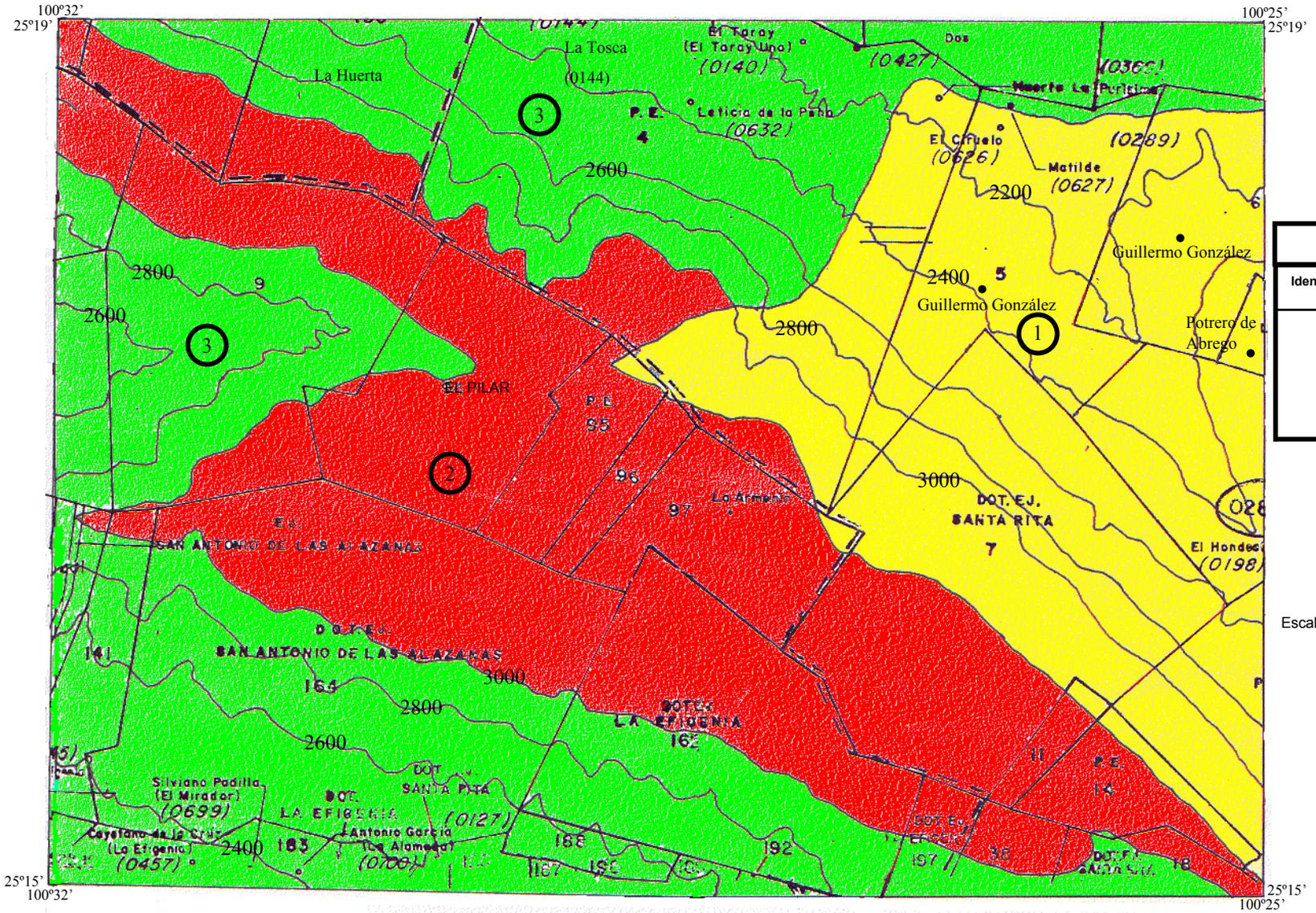
Figura A5. Diagrama de una presa de gaviones (Modificado del Ministerio de Medio Ambiente, 1998).



(A) Alzado



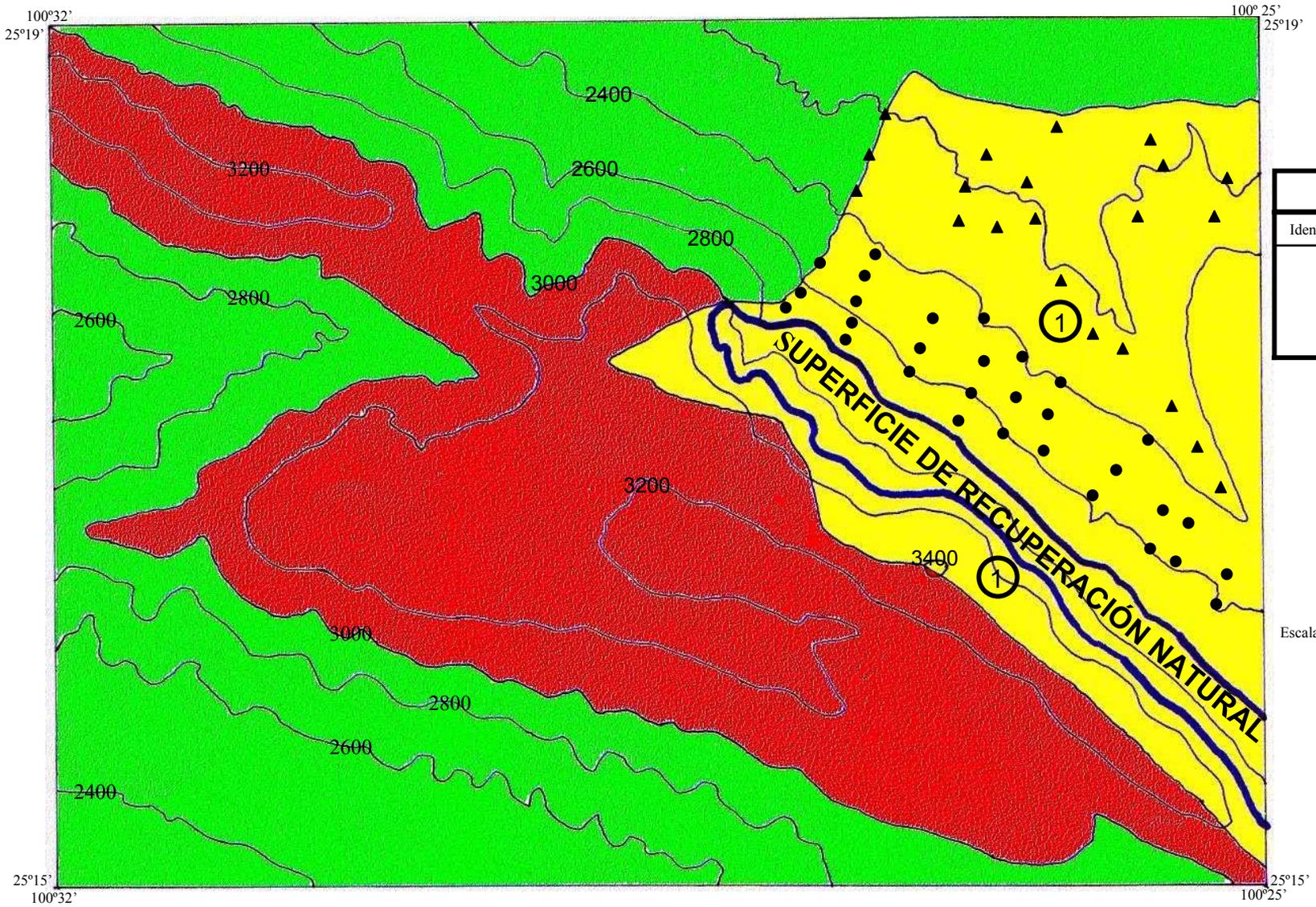
(B) Planta



LEYENDA	
Identificador	Descripción
1	Zona de restauración
2	Zona de conservación
3	Zona de producción

Escala 1:50,000

Figura 2. Zonificación forestal.



LEYENDA	
Identificador	Descripción
▲	Gaviones
●	Represas
①	Superficie de reforestación

Escala 1:50,000

Figura 3. Áreas de restauración del suelo y vegetación



Figura 4. Identificación de los principales impactos positivos derivados de la restauración de la cubierta forestal (Modificado del Ministerio de Medio Ambiente, 1998).



LEYENDA

Unidad ambiental	Descripción
1	Litoso+Caliza+Noreste
2	Litoso+Brecha sedimentaria+Noreste
3	Castañozem+Brecha sedimentaria+Noreste
4	Litoso+Conglomerado+Noreste
5	Luvisol crómico+Caliza+Noreste
6	Litoso+Caliza+Noroeste
7	Litoso+Caliza+Cenital
8	Luvisol crómico+Caliza+Cenital
9	Litoso+Caliza+Suroeste
10	Rendzina+Caliza+Suroeste
11	Rendzina+Conglomerado+Suroeste
12	Rendzina+Aluvión+Suroeste
13	Rendzina+Lutita+Suroeste
14	Litoso+Caliza+Suroeste
15	Castañozem+Brecha sedimentaria+Suroeste
16	Rendzina+Lutita+Suroeste

Escala 1:50,000

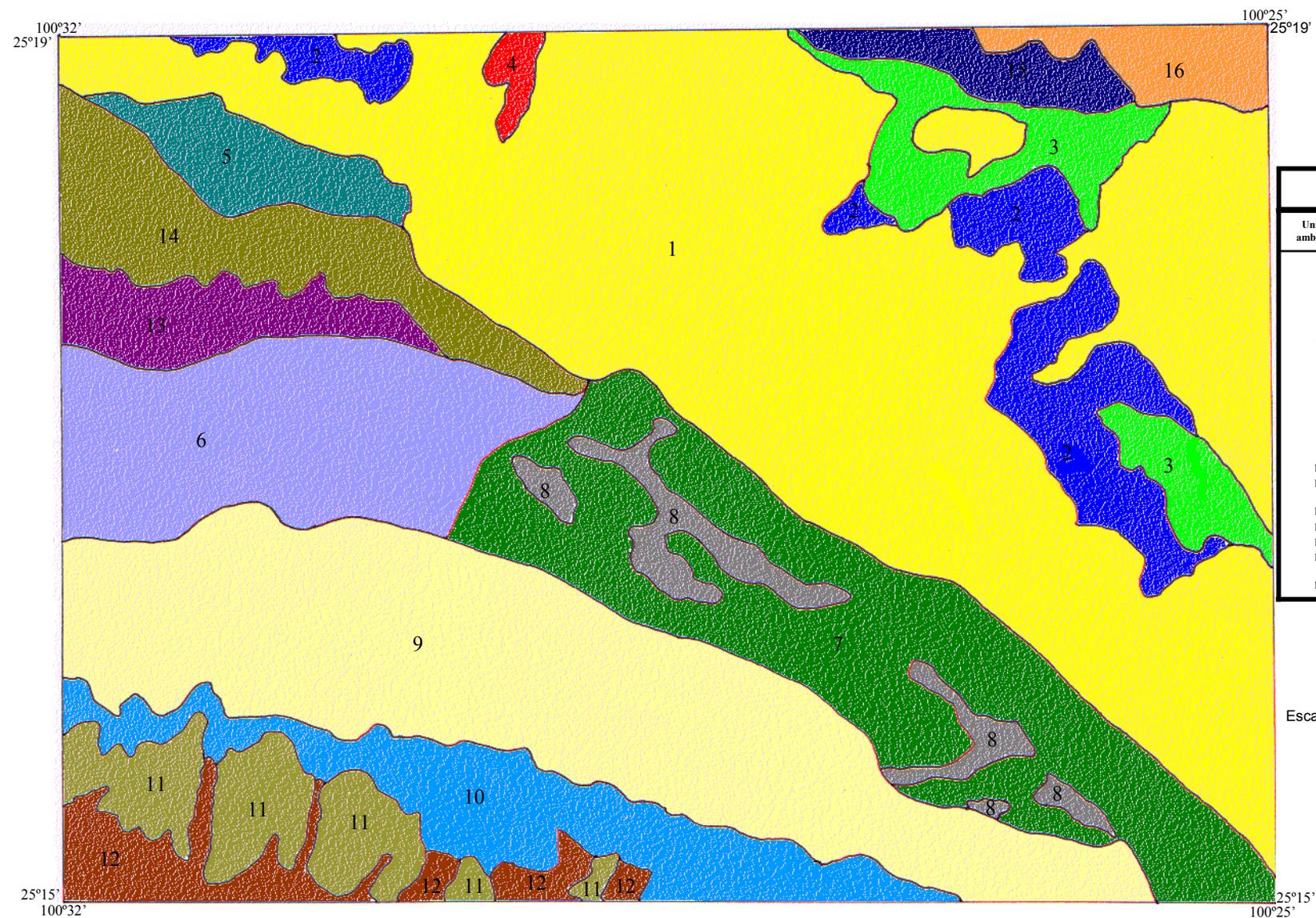


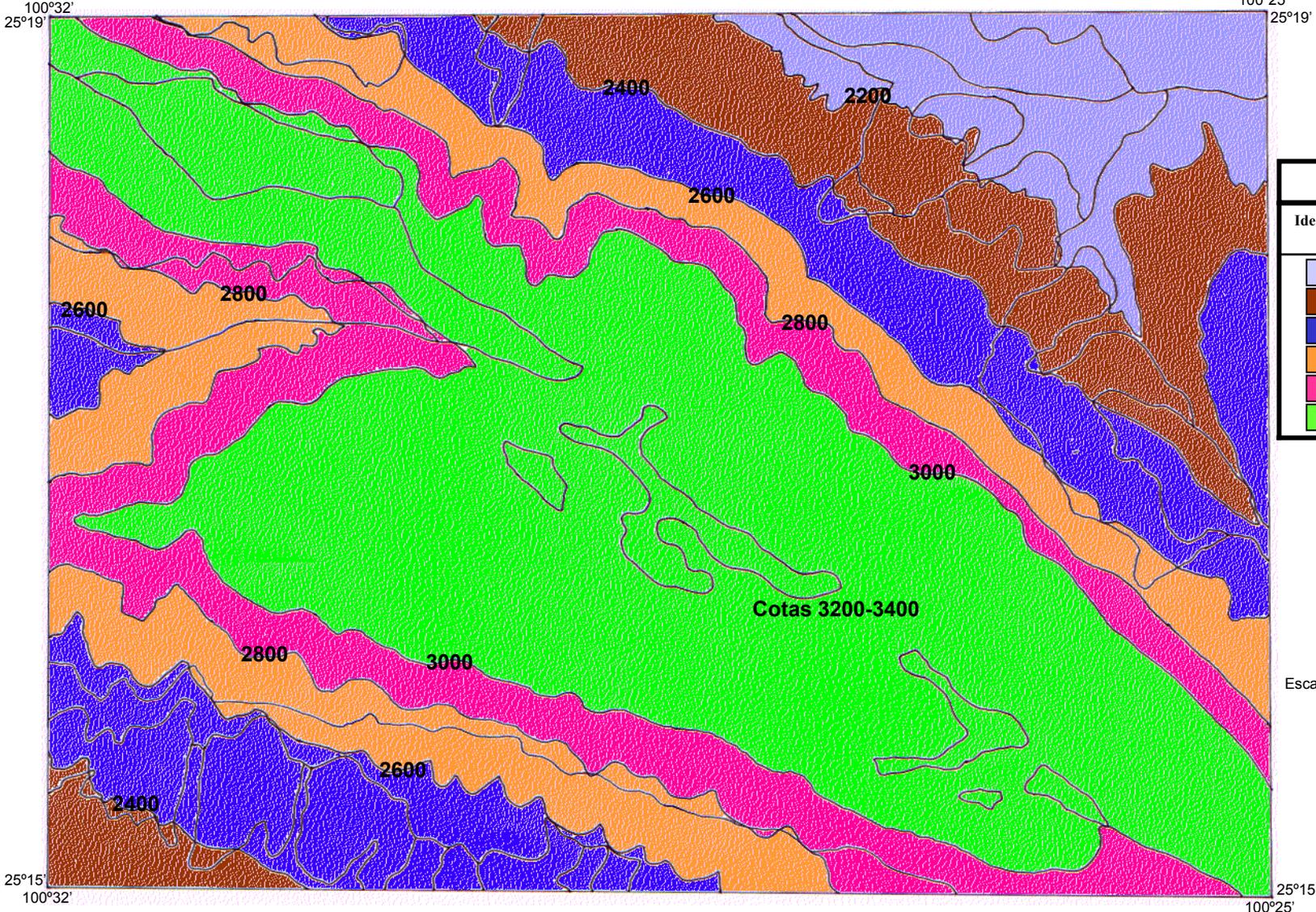
Figura 5. Unidades ambientales identificadas en el área de estudio.



LEYENDA	
Identificador	Descripción
1	Agricultura de temporal
2	Pastizal inducido
3	Bosque de Abies-Pinus- otras especies
4	Chaparral- Bosque de coníferas

Escala 1:50,000

Figura 6. Unidades ambientales con vegetación.



LEYENDA	
Identificador	Cotas (msnm)
	2,200
	2,400
	2,600
	2,800
	3,000
	3200-3400

Escala 1:50,000

Figura 7. Unidades ambientales con cotas altitudinales.



LEYENDA	
Identificador	Descripción
1	0 - 25%
2	26 - 50%
3	51 - 75%

Escala 1:50,00

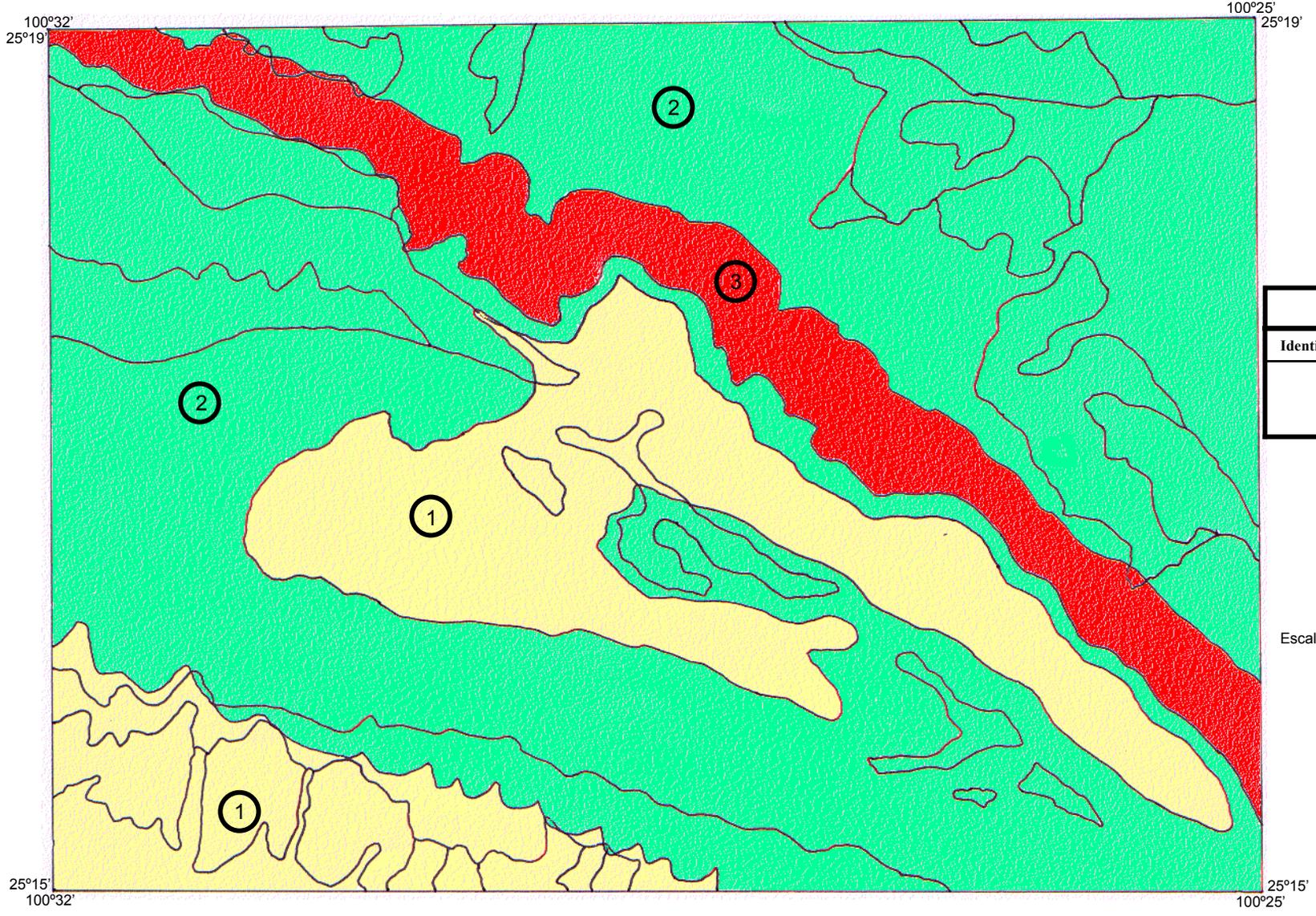


Figura 8. Unidades ambientales con rangos de pendientes.



LEYENDA

UNIDADES AMBIENTALES

1. Litosol+Caliza+Noreste
2. Litosol+Brecha sedimentaria+Noreste
3. Castañozem+Brecha sedimentaria+Noreste
4. Litosol+Conglomerado+Noreste
5. Luvisol crómico+Caliza+Noreste
6. Litosol+Caliza+Noroeste
7. Litosol+Caliza+Cenital
8. Luvisol crómico+Caliza+Cenital
9. Litosol+Caliza+Suroeste
10. Rendzina+Caliza+Suroeste
11. Rendzina+Conglomerado+Suroeste
12. Rendzina+Aluvión+Suroeste
13. Rendzina+Lutita+Suroeste
14. Litosol+Caliza+Suroeste
15. Castañozem+Brecha sedimentaria+Suroeste
16. Rendzina+Lutita+Suroeste

VEGETACIÓN

- TA Agricultura de temporal
Pi Pastizal inducido
Baop Bosque de *Abies-Pinus* y otras especies
MI Chaparral

RANGOS DE PENDIENTES

- 0 - 25%
 26 - 50%
 51 - 75%

Escala 1:50,000

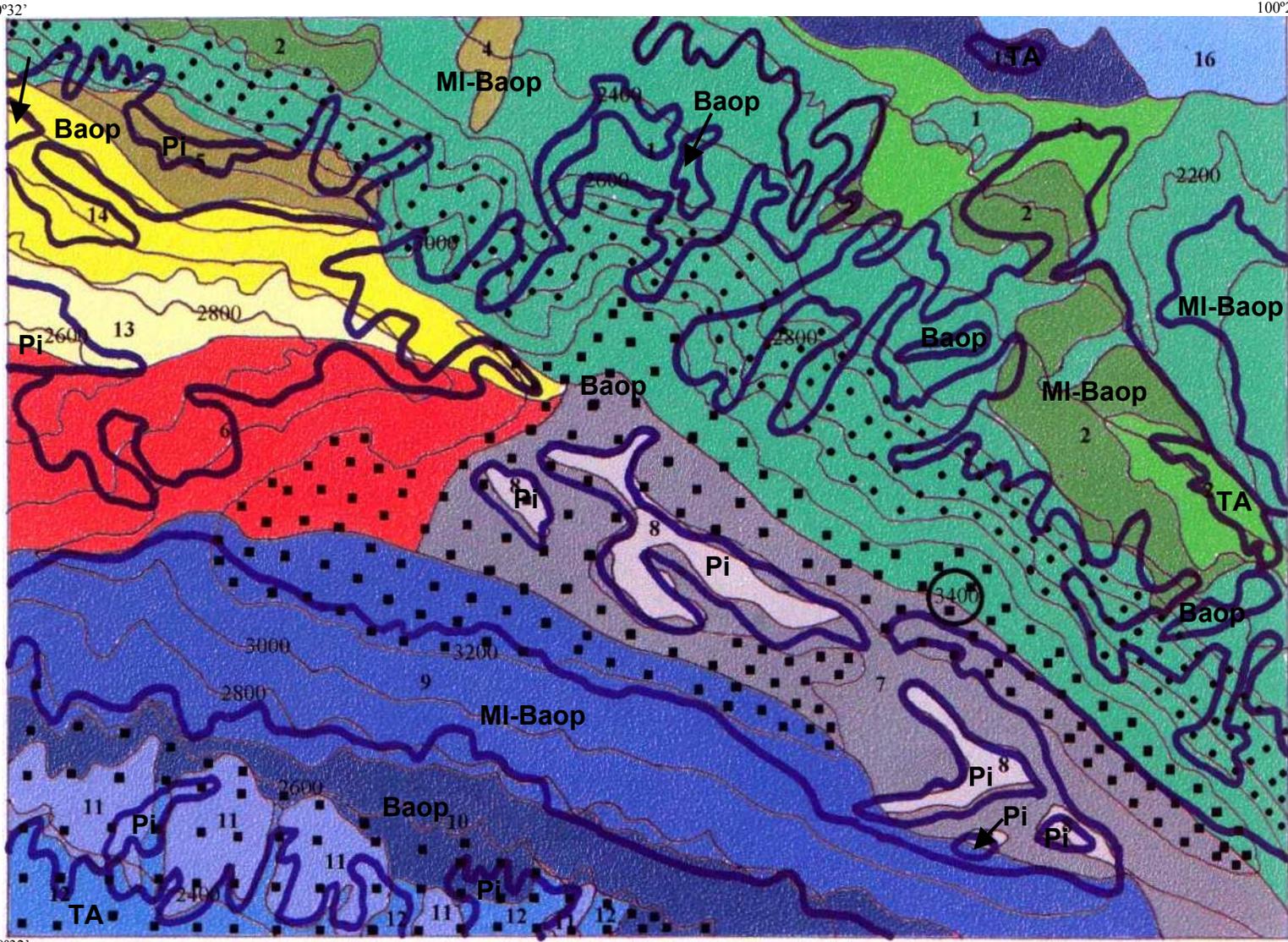


Figura 9. Unidades ambientales con vegetación, rangos de pendientes y cotas altitudinales.