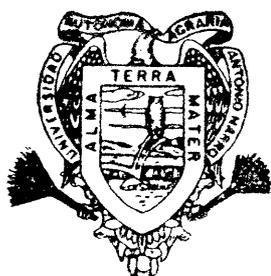


IMPACTO DEL USO MULTIPLE SOBRE LA
INFILTRABILIDAD Y LA EROSION EN LA CUENCA
"PASO DE PIEDRA", DURANGO

JOSE DUEÑEZ ALANIS

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS
EN MANEJO DE PASTIZALES



Universidad Autónoma Agraria
Antonio Narro

PROGRAMA DE GRADUADOS

Buenavista, Saltillo, Coah.

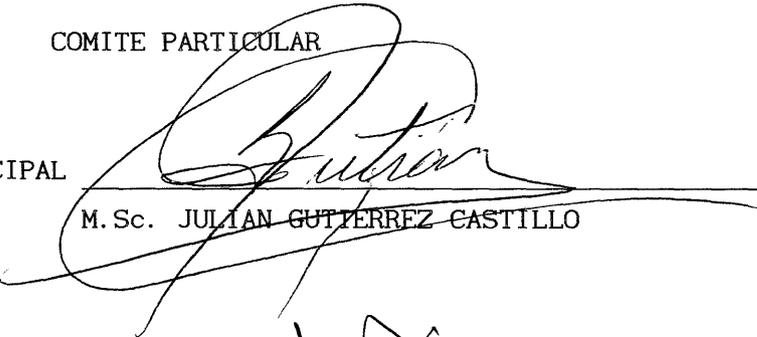
OCTUBRE DE 1993

TESIS ELABORADA BAJO LA SUPERVISION DEL COMITE PARTICULAR
DE ASESORIA Y APROBADA COMO REQUISITO PARCIAL, PARA OPTAR
AL GRADO DE

MAESTRO EN CIENCIAS
EN MANEJO DE PASTIZALES

COMITE PARTICULAR

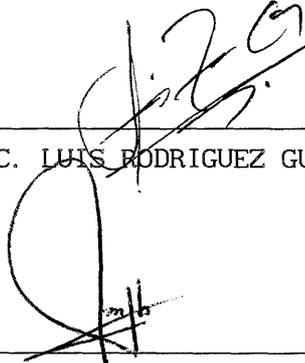
ASESOR PRINCIPAL

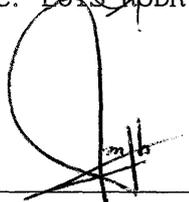

M.Sc. JULIAN GUTIERREZ CASTILLO

ASESOR


M.C. LUIS PEREZ ROMERO

ASESOR


M.C. LUIS RODRIGUEZ GUTIERREZ


PH.D. JOSE MANUEL FERNANDEZ BRONDO
SUBDIRECTOR DE POSTGRADO



BIBLIOTECA
EGIDIO G. REBONATO
BANCO DE TESIS
U.A.A.A.N.

Buenvista, Saltillo, Coahuila. Octubre 1993.

DEDICATORIA

A MI FAMILIA

Sin la cual no hubiese logrado las metas propuestas en los estudios. Con todo mi cariño y amor para ellos:

JULIETA

JUAN FRANCISCO

ROSALVA

PATRICIA

JORGE LUIS

CLAUDIA DOLORES

OSCAR

OSCAR MANUEL

CLAUDIA MINERVA

HENRY

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por brindarme su apoyo económico para la realización de esta etapa en mi formación profesional.

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro por haberme permitido realizar los estudios de maestría.

A los Profesores de la Academia de la Especialidad, quienes dan su esfuerzo en la enseñanza e impartición de conocimientos.

Al Departamento de Recursos Naturales Renovables y Maestros.

Al Ing. M.Sc. Julián Gutiérrez Castillo por su orientación, asesoramiento y aliento para seguir adelante, y sobre todo por su amistad brindada en todo momento.

Agradezco en forma especial a los Ings. M.C. Luis Pérez Romero y Luis Rodríguez Gutiérrez su amistad y asesoramiento que me han brindado y su apoyo para la culminación de escrito.

Al Ing. Roberto Trujillo R., Director de la Unidad de Conservación y Desarrollo Forestal No. 8 "Regocijo" por el apoyo para efectuar este estudio.

Al Sr. Juan Tinoco, Administrador de la Compañía Ganadera "Santa Bárbara" por su apoyo y facilidades para la realización del trabajo de campo y la estancia durante los dos años de estudio.

Al Ing. José Luis Castillo V. por su apoyo durante los recorridos y localización del área de estudio.

Al Sr. Juan Francisco Dueñez Alanis por su apoyo incondicional y su esfuerzo durante el trabajo de campo durante los dos años de estudio, con quien comparto el mérito del trabajo.

A mi familia de quien recibí todo el apoyo para realizar el presente trabajo durante los dos años de estudio.

En forma muy especial al Biól. M.C. Héctor Miranda Zarazúa, por la gran amistad compartida, además del apoyo en la toma de datos de campo y realización del trabajo.

A la Srita. Maria Elena González y a la Lic. Telma M. Arredondo de Gutiérrez por sus correcciones y observaciones al escrito.

A la Sra. Irene Ayala, Sra. Leticia Lara y Srita. Claudia V. Avila por su colaboración y apoyo en el escrito.

A las laboratoristas Q.F.B. Socorro Bahena G., Silvia Guerrero, Josefina de la Cruz y Maria del Socorro Mireles por su amistad, colaboración y realización de los análisis de laboratorio.

Al Sr. David Silva Téllez por su amistad en todo momento.

Al Sr. Manuel Ramírez C. por su amistad y apoyo brindado.

Al Ing. Mario Ramírez por su colaboración en la toma de fotografías y transparencias y su amistad.

A mis compañeros de especialidad por haber convivido y compartido experiencias, en especial al Ing. Rodolfo Flores Z., Biól. Leopoldo Villarruel S. e Ing. J. Santos Sierra T.

Al Ing. Roberto Nava C. y al personal administrativo del Departamento de Recursos Naturales Renovables por su amistad y colaboración.

A los Ings. Magdalena Rodríguez Ayala y Rafael Rodríguez Araujo por su amistad, convivencia y apoyo.

A los Ings. Myrna J. Ayala O., Enrique Sosa R., Rigoberto Meza S., Macario Balderas M. y Miguel Sánchez por haber compartido experiencias y convivencia.

A todos aquellos que de alguna manera tengo a bien agradecer por su amistad y convivencia durante los estudios de maestría.

COMPENDIO

IMPACTO DEL USO MULTIPLE SOBRE LA INFILTRABILIDAD Y LA EROSION
EN LA CUENCA "PASO DE PIEDRA", DURANGO

por

JOSE DUEÑEZ ALANIS

MAESTRO EN CIENCIAS

EN MANEJO DE PASTIZALES

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA. OCTUBRE 1993

M. Sc. : Julián Gutiérrez Castillo

-Asesor-

Palabras clave: Infiltrabilidad, Sedimentos, Erosión, Simulación de Lluvia, Uso Múltiple, Uso Forestal, Uso Pecuario, Bosque de Pino-Encino.

Los objetivos del presente estudio fueron: determinar el impacto del uso múltiple sobre la infiltrabilidad, la concentración de sedimentos y la erosión en una cuenca boscosa y, determinar los factores de suelo, vegetación y precipitación relacionados con la infiltrabilidad, la concentración de sedimentos y la erosión.

La investigación se realizó en la cuenca "Paso de Piedra", Durango, durante julio y agosto de 1991 y 1992, utilizando seis tratamientos formados por dos factores, el primer factor lo constituyeron las prácticas silvícolas de segundo aclareo, tercer aclareo y corta de regeneración, mientras que el uso y no uso pecuario constituyeron el segundo factor. Se utilizó un simulador de lluvia portátil para aplicar una intensidad de 10.47 cm/hr sobre parcelas circulares de un metro de diámetro; la lluvia se simuló por 30 min, colectando el escurrimiento en períodos de cinco minutos; la infiltrabilidad se calculó como la diferencia entre la lluvia aplicada y el escurrimiento recolectado. La concentración de sedimentos se obtuvo filtrando y secando muestras del escurrimiento recolectado de 500 ml y la erosión como el producto de la concentración de sedimentos, el escurrimiento superficial y el área de la parcela. Los datos se analizaron en un diseño completamente al azar con arreglo factorial de tratamientos y corrección por covarianza de la humedad del suelo y la pendiente; los factores de suelo, vegetación y precipitación fueron correlacionados y analizados a través del método de regresión múltiple "stepwise" para determinar su relación con la infiltrabilidad, la concentración de sedimentos y la erosión.

En los dos años de estudio, los sitios aclareados presentaron infiltrabilidad más alta cuando se incluyó el pastoreo; durante 1992 en los tratamientos de corta de regeneración la más alta infiltrabilidad se registró cuando no se tuvo uso pecuario. En ambos años el uso pecuario no tuvo influencia estadística en la infiltrabilidad; el aprovechamiento forestal tuvo efecto a partir de los 10 min en el

primer año y sólo a los 15 y 20 min en el segundo año; la interacción de ambos usos no tuvo efectos en 1991, pero en 1992 se presentó a partir de los 15 min.

La concentración de sedimentos en ambos años no mostró influencia por el uso de los recursos en forma independiente y, la interacción sólo influyó a los 30 min durante 1992. Por otra parte, la erosión no fue afectada por el uso pecuario en los dos años; en 1991 el uso forestal influyó a los 20 min y la interacción de ambos usos a los 5 minutos; en 1992 el uso forestal no tuvo efecto y la interacción influyó a los 15, 25 y 30 minutos. De acuerdo a los datos, la erosión durante la primera evaluación fue mayor que en la evaluación del segundo año.

Durante el primer verano, la infiltrabilidad tuvo relación en forma primordial con la densidad aparente, la cobertura de zacates, la fitomasa aérea total y la precipitación registrada el día anterior. En el segundo año, los factores asociados mayormente con la infiltrabilidad fueron la cobertura de zacates, hojarasca y pedregosidad, la densidad de acacias y la precipitación.

Durante 1991 la concentración de sedimentos fue impactada mayormente por la hojarasca, en 1992 por la hojarasca y el contenido de arcilla del suelo.

Los factores de suelo y vegetación relacionados con la erosión no fueron consistentes en los dos años; sólo se encontró fuerte

relación con la densidad aparente en 1991; en el segundo año se relacionó mayormente a la cobertura de zacates, densidad aparente, pedregosidad y suelo desnudo.

ABSTRACT

IMPACT OF MULTIPLE USE ON INFILTRABILITY AND EROSION
IN THE PASO DE PIEDRA WATERSHED, DURANGO

By

JOSE DUEÑEZ ALANIS

MASTER OF SCIENCE

RANGE MANAGEMENT

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA, MEXICO

OCTOBER 1993

M.Sc. Julián Gutiérrez Castillo

-Adviser-

Key Words: Infiltrability, Sediments, Erosion, Rainfall
Simulation, Multiple Use, Forestry Use, Livestock Use,
Pinus-Quercus Forest.

The objectives of the present study were: 1) to determine the impact of multiple use on infiltrability, sediment concentration, and erosion, and 2) to determine soil, plant, and precipitation factors

that affect infiltrability, sediment concentration and interrill erosion.

The research was conducted on the Paso de Piedra Watershed, Durango during July and August, 1991 and 1992. Two factors were used in the study: 1) silvicultural treatments as first felling, second felling and final fellings and, 2) livestock production as with and without use of livestock, therefore the study included six treatments. A portable rainfall simulator was used to apply a rainfall intensity of 10.47 cm/hr on circular plots of 1 m of diameter. Rainfall was simulated during 30 min. Runoff was collected in each 5-min interval. Infiltrability was estimated as the difference between applied rainfall and collected runoff. At each interval, a 0.5-liter of runoff was collected, filtered, oven-dried, and weighed to estimate sediment concentration. Interrill erosion was determined from sediment concentration, runoff, and plot size. Data was analyzed in a completely randomized design with factorial arrangement of treatment and corrected by soil water and slope covariables. Infiltrability, sediment concentration, and interrill erosion were correlated and regressed with selected soil, plant, and precipitation variables.

In both years, results showed that sites with first and second fellings had higher infiltrability when grazed than sites without grazing. Areas with final fellings had higher infiltrability when grazed in 1991, and when no grazing exist during 1992. Data show that there exist greater effects by the forest exploitation than by the livestock utilization. In the first year, interaction of factors did

not have effects on infiltrability. However, in 1992 the interaction had effects at 15, 20, 25 and 30 minutes.

Wood and livestock production did not have any effect in sediment concentration in both years. But, in 1992 the interaction of both factors had effects at 30 minutes of the simulation. Data show that livestock production did not have effects on interrill erosion during two years of study. Meanwhile, wood production affects interrill erosion at 20 minutes during 1991. Also, in the first year interaction of wood and livestock production affect erosion and the interaction of factors had effects at 15, 25, and 30 minutes.

In the first year infiltrability was affected by bulk density, total phytomass, grass cover, and precipitation. In the second year infiltrability was related with grass cover, litter, gravel and rock, and precipitation. Sediment concentration was related with litter and cover of forbs in 1991; and by clay content and litter in 1992. Interrill erosion was determined mainly by bulk density during 1991. Interrill erosion was affected by grass cover, bulk density, gravel and rock, and bare ground in the second year.

INDICE DE CONTENIDO

	PAGINA
INDICE DE FIGURAS.....	xvi
INDICE DE CUADROS.....	xvii
INTRODUCCION.....	1
Objetivos.....	2
Hipótesis.....	3
Justificación.....	3
REVISION DE LITERATURA.....	5
Uso Múltiple.....	5
Impacto del Aprovechamiento en Cuencas Forestales....	8
Infiltrabilidad.....	13
Erosión.....	15
Estudios Relacionados.....	18
MATERIALES Y METODOS.....	22
Descripción General del Area de Estudio.....	22
Hidrología.....	22
Vegetación.....	24
Clima.....	24
Suelo.....	26
Uso del Suelo.....	26
Descripción de los Sitios de Estudio.....	29
Descripción del simulador.....	31

Metodología.....	34
Simulación de lluvia.....	34
Estimación de la Tasa de Escurrimiento.....	35
Estimación de la Infiltrabilidad.....	35
Estimación de la Concentración de Sedimentos.	36
Estimación de la Erosión.....	36
Estimación de los Factores de Suelo.....	36
Contenido de Humedad y Densidad Aparente.	36
Pendiente.....	37
Textura y Materia Orgánica.....	37
Estimación de Factores de Vegetación.....	37
Estimación de la Cubierta Vegetal.....	38
Estimación de Fitomasa Aérea.....	38
Densidad de Pinos, Diámetro y Area Basal.	38
Densidad de Renuevos y Arbustos.....	39
Registro de Precipitación.....	39
Análisis Estadístico.....	40
Descripción de Tratamientos.....	40
Diseño Estadístico.....	40
Prueba de Medias.....	41
Análisis de Correlación y Regresión	
Múltiple.....	41
RESULTADOS.....	42
Infiltrabilidad.....	42
Concentración de Sedimentos.....	47
Erosión.....	52
Variables de Suelo.....	61

Variables de la vegetación.....	63
Registro de la Precipitación.....	68
Variables que Afectan la Infiltrabilidad.....	68
Variables que Afectan la Concentración de Sedimentos.	70
Variables que Afectan la Erosión.....	73
DISCUSION.....	75
Infiltrabilidad.....	75
Concentración de Sedimentos.....	78
Erosión.....	80
CONCLUSIONES.....	83
RESUMEN.....	85
LITERATURA CITADA.....	88

INDICE DE FIGURAS

FIGURA		PAGINA
3.1	Area de estudio de la cuenca hidrológica "Paso de Piedra", Durango, México.....	23
3.2	Climograma temperatura-precipitación anual, 1991 y 1992 de la estación climática "Santa Bárbara", Durango, México.....	27
3.3	Simulador de lluvia.....	33
4.1	Infiltrabilidad (cm/hr) estimada en los sitios de estudio durante 1991.....	43
4.2	Infiltrabilidad (cm/hr) estimada en los sitios de estudio durante 1992.....	44
4.3	Concentración de sedimentos (g/l) estimada en los sitios de estudio durante 1991.....	49
4.4	Concentración de sedimentos (g/l) estimada en los sitios de estudio durante 1992.....	51
4.5	Erosión (Kg/ha) estimada en los sitios de estudio durante 1991.....	55
4.6	Erosión (Kg/ha) estimada en los sitios de estudio durante 1992.....	57

INDICE DE CUADROS

CUADRO		PAGINA
3.1	Especies vegetales principales presentes en la cuenca "Paso de Piedra", Durango. (Trujillo, 1986).	25
3.2	Tratamientos de regulación del bosque por el Método de Desarrollo Silvícola aplicados en la cuenca "Paso de Piedra", Durango. (Trujillo, 1986).....	29
4.1	Valor de "F" del efecto del uso forestal (A), uso pecuario (B) e interacción de ambos factores (AB) sobre la infiltrabilidad y el efecto debido a las covariables humedad del suelo (H) y pendiente (P) en la cuenca "Paso de Piedra", Durango durante los dos años de estudio.....	46
4.2	Valores medios de la infiltrabilidad (cm/hr) de los tratamientos en la cuenca "Paso de Piedra", Durango durante los dos años de estudio y su significancia estadística en la prueba Tukey.....	48
4.3	Valor de "F" del efecto del uso forestal uso (A) uso pecuario (B) e interacción de ambos factores (AB) sobre la concentración de sedimentos y el efecto de las covariables humedad del suelo (H) y pendiente (P) en la cuenca "Paso de Piedra", Durango durante los dos años de estudio.....	53
4.4	Valores medios de la concentración de sedimentos (g/l) de los tratamientos en la cuenca "Paso de Piedra", Durango durante los dos años de estudio y su significancia estadística en la prueba Tukey....	54
4.5	Valor de "F" del efecto del uso forestal (A), uso pecuario (B) e interacción de ambos factores (AB) sobre la erosión y el efecto debido a las covariables humedad del suelo (H) y pendiente (P) en la cuenca "Paso de Piedra", Durango durante los dos años de estudio.....	59

INTRODUCCION

El referirse al uso múltiple en los bosques de México, es hablar de las actividades de la vida cotidiana de los habitantes y poseedores del recurso; esto es, la gente requiere de viviendas y alimentación, que obtiene de la madera de los árboles, explotación del ganado, diversos cultivos y cacería en el bosque. Estas actividades, se han venido realizando por largo tiempo; sin embargo, actualmente la demanda de la sociedad crece día con día, lo que ha ocasionado un aumento en el uso de los recursos para satisfacer las necesidades de agua para consumo humano, agricultura e industria, de madera para la construcción y fabricación de muebles, de forraje para la alimentación de ganado y fauna y de lugares de esparcimiento. No obstante, el manejo y aprovechamiento de los recursos requiere ser integrado al potencial de producción y beneficio de los bosques, sin tener efectos negativos sobre uno o varios recursos, y al propio recurso en explotación en el futuro; debido a esto, el aprovechamiento integral del bosque, el uso múltiple en sí, requiere de la evaluación del impacto ambiental sobre los cambios potenciales de un área dada.

Siendo el agua un recurso vital para la sociedad, los cambios en el balance de la misma dentro de una cuenca forestal, implica la modificación en la relación agua-suelo-planta, ya que la distribución y disponibilidad son afectadas con la remoción de los árboles y los

cambios en la vegetación asociada con el bosque. Así, los cambios en los procesos hidrológicos son indicadores de la respuesta al uso del suelo por determinado manejo o actividades de aprovechamiento de los recursos naturales en una cuenca.

Con el fin de evaluar los efectos del uso múltiple en una cuenca en el presente estudio se plantean los siguientes,

Objetivos

General

Determinar el impacto del uso múltiple sobre la infiltrabilidad y la erosión del suelo en la cuenca boscosa "Paso de Piedra", Durango.

Específicos

- Evaluar el impacto del uso silvícola y pecuario sobre la infiltrabilidad en una cuenca boscosa.

- Evaluar el impacto del uso silvícola y pecuario sobre la concentración de sedimentos y la erosión en una cuenca boscosa.

- Analizar los factores de suelo, vegetación y precipitación que influyen la infiltrabilidad en una cuenca boscosa.

- Analizar los factores de suelo, vegetación y precipitación que influyen la concentración de sedimentos y la erosión en una cuenca boscosa.

Hipótesis

Ho₁: La infiltrabilidad del suelo se reduce cuando se incluye uso pecuario en un área con aprovechamiento forestal en una cuenca boscosa.

Ho₂: La concentración de sedimentos y la erosión del suelo se incrementan cuando se incluye el uso pecuario en un área con aprovechamiento forestal en una cuenca boscosa.

Ho₃: La infiltrabilidad, la concentración de sedimentos y la erosión son influenciadas por factores específicos de suelo y vegetación, en áreas con aprovechamiento forestal y pecuario.

Justificación

No obstante, la creciente demanda por obtener productos y beneficios de los recursos naturales, se necesita establecer el uso y manejo óptimo de dichos recursos para que su aprovechamiento no afecte adversamente a ese u otros recursos presentes en el área de aprovechamiento.

El aprovechamiento de los recursos del bosque en los Estados de Durango y Chihuahua, se ha enfocado en la actualidad a un manejo integral en base a la aplicación de tratamientos silvícolas con cortas de aclareo, regeneración y liberación en las etapas de desarrollo de los rodales. Por otro lado, en éstas regiones existe el potencial de producción de forraje y, utilizar la ganadería en el bosque en las porciones tratadas y valles intermontanos es otra forma de explotación del bosque. Además, desde el punto de vista del manejador de cuencas hidrológicas, existe la necesidad de evaluar el impacto en los procesos hidrológicos, considerando que el objetivo principal es el abastecimiento de agua dentro o fuera de la cuenca, ya sea al suelo, a la vegetación, a los animales o al hombre.

Por otro lado, las actividades de uso y manejo del suelo y los cambios en la cubierta vegetal tienen implícitos efectos en la distribución del agua en el bosque, consecuentemente en la relación de la disponibilidad del agua sobre o dentro del suelo. Debido a esto, el manejador de recursos forestales debe conocer el impacto en el balance de agua en las cuencas, ya que es en dichas regiones donde se produce gran cantidad del recursos agua a importantes zonas agrícolas, industriales y ciudadinas.

REVISION DE LITERATURA

Uso Múltiple

En una cuenca hidrológica el manejo de los recursos para producir más de un producto o amenidad refleja el concepto de uso múltiple (Medina y Gutiérrez, 1990; Brooks *et al.*, 1991); este concepto se puede entender como el manejo de la Tierra con el cual dos o más productos son obtenidos del mismo sitio, es decir, una explotación simultánea de agua, forraje, recreación, fauna, minería, y otros, con una producción sostenida de recursos (Hall y Thomas, 1979, Heady, 1981). En forma sencilla, "uso múltiple" se define como el uso de la Tierra para más de un propósito, tal como la producción de agua, madera, forraje, fauna silvestre y recreación, entre otros (Huss y Aguirre, 1987); en la práctica, el significado del término es aplicado al uso de un área de la tierra y en particular a los recursos naturales, dicho uso puede ser complementario, suplementario o competitivo, ya que la demanda de un recurso para un uso específico requiere de un área donde otros recursos naturales son producidos (Brooks *et al.*, 1991).

En los bosques, la producción sostenida con uso múltiple implica el manejo integral de varios recursos sin detrimento uno de otro, ya sea producidos en forma adyacente o simultánea, considerados

en forma independiente, en un balance entre la producción del recurso y su aprovechamiento (Behan, 1990).

Aún cuando es de aceptación general, la aplicación del concepto del uso múltiple es difícil y complicada al integrar diferentes usos, debido a la gran diversidad de clima, topografía, suelos y vegetación en una cuenca hidrológica (Heady, 1981). Las nuevas estrategias de manejo, el conocimiento científico y la tecnología ayudan en la aplicación del uso múltiple tradicional para satisfacer el interés de los habitantes en las áreas naturales; no obstante, en la actualidad se requiere responder en términos de necesidades y aspiraciones de la sociedad con una nueva perspectiva para el manejo sostenido de los recursos (Kessler *et al.*, 1992).

Por otro lado, el manejo integral de recursos en una cuenca tiene como meta lograr el uso potencial de un área mediante la planeación de actividades con uso múltiple; el objetivo del manejo integral es buscar soluciones ecológicas y sensatas con opciones de uso múltiple de los recursos (Medina y Gutiérrez, 1990). En los bosques el manejo integral de los recursos es definido como la administración de los recursos tendientes a obtener un rendimiento óptimo y sostenido de algún(os) bien(es) y/o servicio(s), minimizando su deterioro y el de los recursos asociados; el objetivo es aplicar técnicas silvícolas de acuerdo a la situación actual del bosque e integrar el uso de los recursos asociados como es la ganadería, agricultura, agua, flora y fauna, de acuerdo al potencial y compatibilidad de actividades en

consideración, a la condición económica, social y cultural de los propietarios y a la política estatal y federal (Trujillo, 1986).

El manejo de cuencas, en el contexto de la optimización del uso múltiple tiene la ventaja de enfocarse hacia un problema para reducir la probabilidad de suboptimizar el uso del suelo, en la expectativa de optimizar un recurso en particular sin detrimento alguno; no obstante, la optimización en una cuenca, podría ser subóptima a nivel regional, por lo cual el establecimiento de modelos a dicho nivel conducen a un manejo más eficiente de las cuencas agregadas al sistema (Cooper, 1969).

En las regiones forestales, el manejo de una cuenca necesita considerar todos los recursos del bosque; en la regulación silvícola el análisis de interacciones entre el período de aprovechamiento-tratamiento silvícola identifica opciones de manejo para eficientar la producción; así, el potencial de producción conjunta de madera y forraje puede alcanzarse con tratamientos silvícolas que no causen detrimento en la producción de madera en áreas con bajo potencial maderero y buena producción de forraje, la obtención de ambos beneficios es compensada con el manejo del bosque en los incrementos o reducción de los ciclos de corta (McMinn, 1980).

La realización de las prácticas de protección y cortas en aclareos, dentro del contexto del uso múltiple, son diseñadas para integrar la producción de forraje, mantener la calidad del agua, mejorar el habitat de la fauna y engrandecer las oportunidades de

recreación y paisaje, en conjunción con la producción de madera de los bosques (Alexander, 1986). Por ejemplo, Hibbert (1979) menciona que para producir agua adicional dentro del concepto de uso múltiple, una porción de la cuenca puede ser tratada de manera óptima y mantener los valores de los demás recursos con prácticas de mejoramiento y conservación.

Impacto del Aprovechamiento en Cuencas Forestales

El impacto ambiental es el cambio neto del ambiente, ya sea benéfico o perjudicial, ocasionado directa o indirectamente por la acción del hombre y puede ser medido a través de componentes animados o inanimados, llamados indicadores de impactos o indicadores ambientales (Zimmermann, 1983).

El efecto acumulado de las actividades del manejo y uso de la Tierra sobre los recursos suelo, agua y vegetación involucra una conjunción inherente entre el hombre y el ambiente, lo cual permite analizar los componentes básicos del ecosistema en eventos dentro o fuera de la cuenca, con uno o varios usos en particular (Sidle y Sharpley, 1991; Swank y Van Lear, 1992). En términos de uso múltiple, el análisis de cuencas evalúa el uso individual o combinado sobre los procesos de energía, nutrientes, agua y sucesión vegetal, esto es, establecer las relaciones de causa y efecto y conocer la respuesta del ecosistema a nivel paisaje, mediante la aplicación del conocimiento y principios para evaluar el impacto humano y natural (Hornbeck y Swank,

1992). Sin embargo, no todos los usos pueden ser compatibles, por lo cual es necesario reconocer los valores de uso potencial y seleccionar las opciones de manejo y, sacrificar o disminuir algunos usos para mantener la cantidad y calidad de otros (Alexander, 1986; Medina y Gutiérrez, 1990).

El concebir la cuenca hidrológica como sistema ecológico, facilita el estudio del funcionamiento de la cuenca, mediante el entendimiento de los procesos ligados al balance de agua (Sarukán y Maass, 1990). Los estudios hidrológicos en pequeñas cuencas tienen características similares a los realizados en ecosistemas naturales, ya que una colección de datos es obtenida por métodos con juicio crítico de experiencias en el uso del suelo en grandes cuencas o áreas naturales (Hawkins, 1986). En este sentido, Troendle (1987) señala que el aprovechamiento silvícola en cortas de aclareos y parciales en bosques de *Pinus contorta*, muestran interacción entre el balance de agua y el manejo forestal, lo cual determina el flujo de agua en los cauces, reduciendo las pérdidas de agua y su agotamiento en los acuíferos, y está en función directa con la precipitación y el área basal residual de los árboles. Zimmermann (1983) indica que los cambios en el balance de agua al eliminar la vegetación en laderas y compactar el suelo por las actividades del aprovechamiento y la deforestación, se reflejan en la relación escurrimiento-infiltración. Finalmente, el conocimiento en la hidrología de diversas asociaciones vegetales, requiere el establecimiento de un esquema general del balance de agua en las cuencas hidrológicas (Hawkins, 1986; Medina y Gutiérrez, 1990).

Por otro lado, el integrar el uso pecuario en los bosques, genera beneficios al hacer uso del recurso pastizal y producir carne (Dunford, 1954; Kosco y Bartolome, 1981), incrementando la economía de los productores (Stoddard, 1978) y mejorando la productividad del forraje (Wolters, 1981). El uso del forraje en los bosques ha sido controversial sobre todo cuando se lleva a cabo sin controlar, lo cual puede ser aplicado a otros uso del bosque (Holechek, 1981) y a menudo se presta mas atención a los atributos destructivos de los animales (Spurr y Barnes, 1982), debido a los efectos directos o indirectos del pisoteo y la remoción de la cubierta vegetal (Pereira, 1973; Blackburn *et al.*, 1981; Shankarnarayan *et al.*, 1987). El efecto del pastoreo del bosque es atribuido principalmente al manejo del ganado, el cual con el pisoteo reduce la infiltrabilidad, destruye la estructura, aumenta la compactación, reduce los microporos, aumenta la densidad aparente del suelo y disminuye cubierta protectora. La reducción de la vegetación por el consumo del animal incrementa el impacto de las gotas de lluvia, decrece la cubierta de hojarasca, la materia orgánica y la estabilidad de agregados del suelo, aumentan las costras de la superficie y la exposición del suelo, todo ello disminuye la infiltrabilidad y aumenta los escurrimientos y la erosión.

Blackburn *et al.* (1981) mencionan que los efectos de intensidad del pastoreo no esta bien documentado, dado que lo intensivo en un estudio puede ser moderado en otro, o bien, lo que es ligero puede ser moderado, siendo esto una interpretación de juicio con sentido general en los estudios experimentales.

El impacto del pastoreo en una cuenca forestal se minimiza cuando el ganado es confinado a los espacios abiertos o aclareados cubiertos con zacates y, se restringe en las áreas cercanas a los cauces y donde la cubierta del suelo sea hojarasca (Kittredge, 1948; Pereira, 1973); considerando que la carga animal en los bosques depende de la producción de forraje de gramíneas (Stoddard, 1978; Heady, 1981) y de las especies arbustivas ramoneables (Mitchell y Rodgers, 1985).

Al aplicar el uso múltiple en los bosques, los manejadores del recurso emplean técnicas para mejorar y modificar la producción de madera y forraje de los ecosistemas (Heady, 1981). La manipulación del estrato arbóreo se refleja en la composición del estrato inferior (Barbour *et al.*, 1987); varios estudios, señalan que la cubierta de zacates y hierbas disminuye con el incremento de la densidad, el área basal y la cobertura foliar de los árboles (Bojorquez *et al.*, 1990), cambia con la composición del bosque (Barbour *et al.*, 1987), la exposición y el aspecto del bosque (Everett y Sharrow, 1985) y la edad de plantaciones (Ball *et al.*, 1990). De esta manera, el aprovechamiento del recurso forestal, representa una herramienta para manipular la cobertura vegetal y la producción de forraje y obtener beneficios por el uso del bosque y pastizal (Johnson, 1984).

El uso de equipo para el aprovechamiento de madera inhibe la entrada y la percolación del agua, debido a la compactación, disminución de macroporos y el incremento en la densidad aparente del suelo, principalmente en las áreas con mayor tráfico de vehículos durante las operaciones. Sin embargo, es frecuente que en ciertas

condiciones, como cuando se tiene una baja intensidad del uso de equipo, los suelos en dos años recobren sus propiedades previas al aprovechamiento forestal (Donnelly *et al.*, 1991), las porciones afectadas por tráfico vehicular intenso requiera 12 años, mientras que áreas afectadas por el arrastre de los trozos requieren hasta 8 años para recuperarse (Dikerson, 1976).

Rachal y Karr (1988) mencionan que las propiedades físicas del suelo son afectadas por el tránsito continuo de vehículos cuando el aprovechamiento forestal se realiza en suelos con alto contenido de humedad y sus efectos están relacionados con una mayor erosión y el incremento de la densidad aparente, la redistribución del espacio poroso y la profundidad en carcavas. Campbell *et al.* (1973) evaluaron los efectos de la extracción de trozos con tractor y reportan que al disturbar el área en un 23 por ciento, la densidad aparente y macroporosidad se relacionaron negativamente con el tráfico frecuente de carriles de extracción en suelos con textura limosa, en comparación a las condiciones sin dicho uso; no obstante, la microporosidad no fue afectada y la densidad aparente no mostró relación con la erosión en áreas con pendiente, en cambio los efectos en la macroporosidad y compactación en el horizonte superior inhibieron la infiltración con el incremento del tráfico durante la extracción de madera; también, señalan que el efecto de la humedad del suelo se vio minimizada por la abundante precipitación en el área de estudio.

Donnelly *et al.* (1991) encontró en bosques de madera dura, que la densidad aparente mostró un aumento en las áreas con mayor

compactación, causada por el uso de equipo pesado de extracción; reportan variaciones en la consistencia de los valores dentro de las áreas de extracción, atribuido a las porciones de superficie no disturbadas por el equipo empleado.

Infiltrabilidad

El papel de la infiltración en el ciclo hidrológico fue reconocido por primera vez por Horton (1933) quien lo define como la entrada de agua en la superficie del suelo. El proceso de infiltración es influenciado por las características del suelo, vegetación, clima y prácticas de uso y manejo del suelo (Gutiérrez *et al.*, 1979; Branson *et al.*, 1981; Blackburn *et al.*, 1987; Wood *et al.*, 1987; Wilcox *et al.*, 1988). Hillel (1972, 1982) propuso el término infiltrabilidad del suelo, con el fin de evitar la ambigüedad del término capacidad de infiltración de un suelo y lo define como el flujo de agua que entra al suelo cuando el agua a presión atmosférica se encuentra disponible sobre la superficie del suelo. El término infiltrabilidad enmarca el término tasa de infiltración definido como el flujo de agua que penetra al suelo por unidad de tiempo (Branson *et al.*, 1981), comunmente usado en los estudios de manejo de los recursos naturales (Wilcox *et al.*, 1988; Gutiérrez *et al.*, 1990; Gutiérrez y Rivera, 1992).

Al inicio de un evento de precipitación cuando el suelo esta seco, la infiltrabilidad es alta y decrece hasta alcanzar un valor constante; además, cuando el suelo presenta valores altos de

infiltrabilidad se reduce el escurrimiento superficial y la erosión (Tamhane *et al.*, 1981), por otro lado, un exceso de lluvia puede presentarse en cualquier tiempo durante el proceso de precipitación, cuando la intensidad de lluvia es mayor que la infiltrabilidad (Gutiérrez *et al.*, 1979); ésta acumulación de agua, al fluir en la superficie provoca el escurrimiento y la erosión.

Los factores que influyen la infiltrabilidad de un suelo son agrupados en seis categorías por Moore *et al.* (1979) siendo estos: 1) Cobertura del suelo, 2) características físicas del suelo, 3) características químicas del suelo, 4) factores bióticos, 5) factores climáticos, y 6) fisiografía del área. Los factores que afectan dicha propiedad han sido discutidos ampliamente por Kittredge (1948), Branson *et al.* (1981), Wood *et al.* (1988) y Dunne *et al.* (1991).

Wilcox *et al.* (1988) menciona que en las regiones montañosas semiáridas, la cubierta vegetal tiene mayor efecto en la infiltrabilidad; asimismo, señala que en suelos someros un cambio pequeño en profundidad y un aumento en el contenido de arcilla de suelos migajón arcilloso y migajón limo arcilloso incrementan la infiltrabilidad, mientras que la cobertura de piedras y grava y la cobertura basal la reducen, pero cuando el suelo esta desnudo y no presenta pendiente, es más alta la infiltrabilidad. Evans (1984) menciona que los suelos pedregosos incrementan la entrada de agua a medida que el agua fluye por los bordes de las piedras. La manipulación del tipo de vegetación y la cobertura del suelo pueden determinar la relación suelo-agua y en consecuencia el balance de agua en la cuenca,

Wood y Blackburn (1981) mencionan que la infiltrabilidad se beneficia con el incremento en cobertura vegetal.

El efecto de los eventos de precipitación sobre la infiltrabilidad depende de la intensidad de lluvia, las características de la superficie del suelo y la variación espacial del movimiento del agua dentro del suelo para desplazarse y humedecer capas más profundas y permeables (Dunne *et al.*, 1991). En los bosques templados, la cobertura vegetal y la hojarasca del estrato inferior tiene una alta protección del suelo disminuyendo los efectos de la precipitación, al retener el escurrimiento en su área de influencia, en el interior o sobre la superficie del suelo, y al favorecer la reserva y almacenaje de agua (Pereira, 1973).

Erosión

La erosión del suelo es la remoción y transporte de las partículas de la superficie del suelo por el agua y el viento (Kirkby, 1984; Brooks *et al.*, 1991). La acción de la erosión comprende tres procesos: a) Desprendimiento de partículas de suelo, b) transporte o suspensión de sedimentos, y c) deposición o agregación de sedimentos. A diferencia del concepto de erosión, la pérdida de suelo es la cantidad de partículas que son removidas en un área sin considerar si salen de un lugar determinado o una cuenca (Branson *et al.*, 1981).

Las partículas de suelo son una mezcla heterogénea de material orgánico e inorgánico, con características propias y de diferentes tamaños (Branson *et al.*, 1981). La concentración de sedimentos es la cantidad de partículas contenidas en el escurrimiento que ocurre de un evento de precipitación (Wilcox *et al.*, 1988; Gutiérrez *et al.*, 1990). La erosión se define como la salida total de partículas de suelo de una cuenca, medidos por un período específico de tiempo y en un punto definido (Mitchell y Bubenzer, 1984; Brooks *et al.*, 1991); comúnmente, es usado como un índice para medir la pérdida de suelo en una cuenca (Blackburn *et al.*, 1987; Wood *et al.*, 1987; Holechek *et al.*, 1989).

La erosión es un proceso natural que se ha presentado en el tiempo, pero algunas actividades del hombre han acelerado dicho proceso, la erosión superficial bajo condiciones naturales, por lo general es un proceso lento en las regiones forestales, aún en las regiones mas montañosas y escarpadas, donde la mejor barrera es la cubierta vegetal y la hojarasca que absorben el impacto de las gotas de lluvia (Pritchett, 1986) y, reducen la turbulencia del flujo del agua (Holechek *et al.*, 1989; Brooks *et al.*, 1991).

La cubierta vegetal, clima, topografía, características del suelo y el uso del suelo son factores que determinan la erosión; por lo cual, el impacto fuera de la cuenca depende de los factores que controlan la producción de sedimentos dentro de la cuenca (Brooks *et al.*, 1991). La producción de sedimentos es el problema principal causado por el escurrimiento superficial, el cual a su vez es controlado por la cubierta vegetal (Holechek *et al.*, 1989). Los efectos

de la precipitación en la erosión son producidos por el impacto de las gotas de lluvia y el arrastre y transporte de sedimentos en el escurrimiento (Branson *et al.*, 1981; Spurr y Barnes, 1984; Pritchett, 1986; Brooks *et al.*, 1991).

Varios estudios han encontrado mayor erosión en tipos de vegetación desértica, decreciendo en el pastizal amacollado, pastizal mediano abierto y bosques; pero en estos últimos, cuando se ha expuesto el suelo desnudo, los valores pueden ser más altos que en los pastizales, debido a los efectos de la precipitación, topografía, cubierta vegetal, manejo del suelo y al aumento del escurrimiento (Branson *et al.*, 1981; Gutiérrez *et al.*, 1990; Brooks *et al.*, 1991).

Mah *et al.* (1992) explican que el exceso de agua acumulada, y el flujo en sí, forman una capa protectora contra el salpicamiento y desprendimiento de suelo, producido por el impacto de las gotas de lluvia; por ello, a mayor volumen de escurrimiento existe menor cantidad de partículas y erosión; también, indican que la lluvia incrementa la erosión con la pendiente de la superficie; concluyen que la pérdida de suelo esta relacionada a mecanismos específicos que controlan el salpicamiento y transportación de los sedimentos en la superficie del suelo. Kinnell (1976) menciona que al mantener constante la intensidad de lluvia en estudios de simulación, la pérdida de partículas de suelo por el impacto de las gotas se relaciona con la lámina de lluvia y los agregados del suelo.

Estudios Relacionados

Debido a la poca información de la hidrología de cuencas en climas templados y las variables a considerar, existe la tendencia a evaluar el impacto del uso del suelo en forma individual con respecto a la infiltrabilidad y erosión (Pereira, 1973).

En un área en que el suelo había sido deteriorado, y posteriormente reforestado con *Pinus halepensis* en diferentes etapas, Gutiérrez y Salazar (1986) estudiaron la infiltrabilidad en cuatro etapas de plantación, encontrando que la infiltrabilidad fue mayor en las áreas con árboles a las que no habían sido reforestadas, además no encontraron diferencias entre las etapas de plantación, pero reportan que las épocas del año tienen influencia en la infiltrabilidad, debido a la saturación de los suelos conforme transcurre el tiempo. Similarmente, Gutiérrez y Dueñez (1988) estudiaron los efectos de la edad de reforestación y la infiltrabilidad, encontrando que en las etapas menores de 10 años existe mucha variación en la entrada de agua al suelo, debido al disturbio causado por las prácticas de la plantación; después de los 10 años, la infiltrabilidad incrementó con la edad de reforestación.

Gifford *et al.* (1970) evaluaron el impacto del desmonte de un bosque de pino-junipero y la resiembra con zacates sobre la infiltrabilidad y erosión; mencionan que no existe una consistencia en el incremento o decremento en la infiltrabilidad y la erosión, y concluyen que estos procesos no fueron afectados como resultado de las

prácticas de transformación, además señalan que la interacción de los factores bióticos, edáficos y climáticos determinan la infiltrabilidad y la erosión en un área o punto dado del ecosistema.

Johnson y Beschta (1980) estudiaron la infiltrabilidad final y erodabilidad superficial del suelo en tres cuencas dominadas por *Pseudotsuga menziensii* y *Pinus sp.* (abeto canadiense y pino) tratadas con aclareos parciales y cortas de protección y total, y en dos cuencas dominadas por *Pseudotsuga menziensii*, *Tsuga heterophylla* y *Thuja plicata* (abetos y cedro) con cortas de protección y total, y un área sin intervenir. Señalan que en cuencas de abeto canadiense y pino con aclareos la infiltrabilidad recobró sus valores rápidamente; en el área de corta total, la infiltrabilidad se disminuyó debido al disturbio de la superficie durante la extracción de trozos con tractor, y la quema del material residual sobre suelos arcillosos con alto porcentaje de suelo desnudo, en la cuenca con abetos y cedro que fueron aclareados, el aprovechamiento forestal no afectó la infiltrabilidad. Al correlacionar las características de la cubierta vegetal y suelo, con la infiltrabilidad se encontró gran variabilidad de resultados, en el bosque de abeto-pino el suelo desnudo fue el más relacionado y en el bosque de abetos-cedro la cobertura vegetal. La concentración de sedimentos y la erosión, fue afectada por el disturbio en los horizontes superficiales y la reducción de la cubierta vegetal; en las áreas con tratamiento silvícola, no se afectó la concentración de sedimentos, y sus valores se asociaron a la cobertura de rocas; por otro lado, las diferencias en la erodabilidad de las dos localidades fue atribuido al disturbio ocasionado sobre la superficie del suelo por

el uso de tractores articulados, el arrastre de trozas y la quema del material residual de los pinos.

Wood *et al.* (1987a) en un bosque de *Pinus palustris* estudiaron el impacto de aclareos y corta de regeneración y pastoreo continuo moderado sobre la infiltrabilidad y la erosión. Indican que la infiltrabilidad es mayor y la erosión menor en áreas con aclareos que en áreas de corta de regeneración, debido a la exposición del suelo desnudo y el disturbio de la cubierta de la hojarasca por las prácticas de aprovechamiento; en las áreas con pastoreo, encontraron menor infiltrabilidad y un incremento en la erosión como resultado de la exposición del suelo desnudo y la remoción de la cubierta vegetal de zacates y biomasa total.

El impacto hidrológico de una cuenca por el aprovechamiento forestal y/o pastoreo, depende principalmente del manejo del pastizal o del bosque que afectan la cubierta vegetal (Pereira, 1973). En este sentido, Dunford (1954) estudió los efectos de las cortas en aclareos selectivos, la eliminación de la hojarasca con fuego y, del pastoreo del pastizal en un bosque de pino ponderosa sobre la erosión; señala que un pastoreo intensivo no es recomendable como práctica de manejo, debido a que incrementa la erosión y el escurrimiento; mientras que, un pastoreo moderado en pendientes suaves, no produce una erosión significativa y es aceptable al no ocasionar un efecto crítico en la humedad disponible a la vegetación. En las parcelas de bosque, las cortas y la eliminación de hojarasca incrementaron la erosión, debido a la remoción de la cubierta protectora. Concluye que el aprovechamiento

de madera, aún en pendientes moderadas, puede ser realizado por cortas selectivas, extraer la madera sin disturbar la superficie del suelo, pero eliminar la práctica del fuego que ocasiona la pérdida de cubierta protectora del piso forestal.

Los efectos del aprovechamiento forestal, la preparación mecánica del área y el pastoreo de ganado, sobre la erosión fueron estudiados por Blackburn *et al.* (1987; 1990); dichos autores encontraron que los desmontes incrementaron la erosión, lo cual es atribuido a la remoción de la cubierta vegetal, al disminuirse la evapotranspiración e incrementarse la humedad sobre el suelo en ventaja para el escurrimiento; la preparación mecánica de los sitios tuvo poco impacto en la pérdida de sedimentos en las cuencas; el pastoreo continuo moderado tuvo un mínimo impacto, pero la alta densidad de carga incrementó los sedimentos en el escurrimiento; los rangos de producción de sedimentos en las cuencas tratadas, se mantuvieron por debajo de otras áreas con aprovechamiento forestal, tierras de pastizal y cultivos.

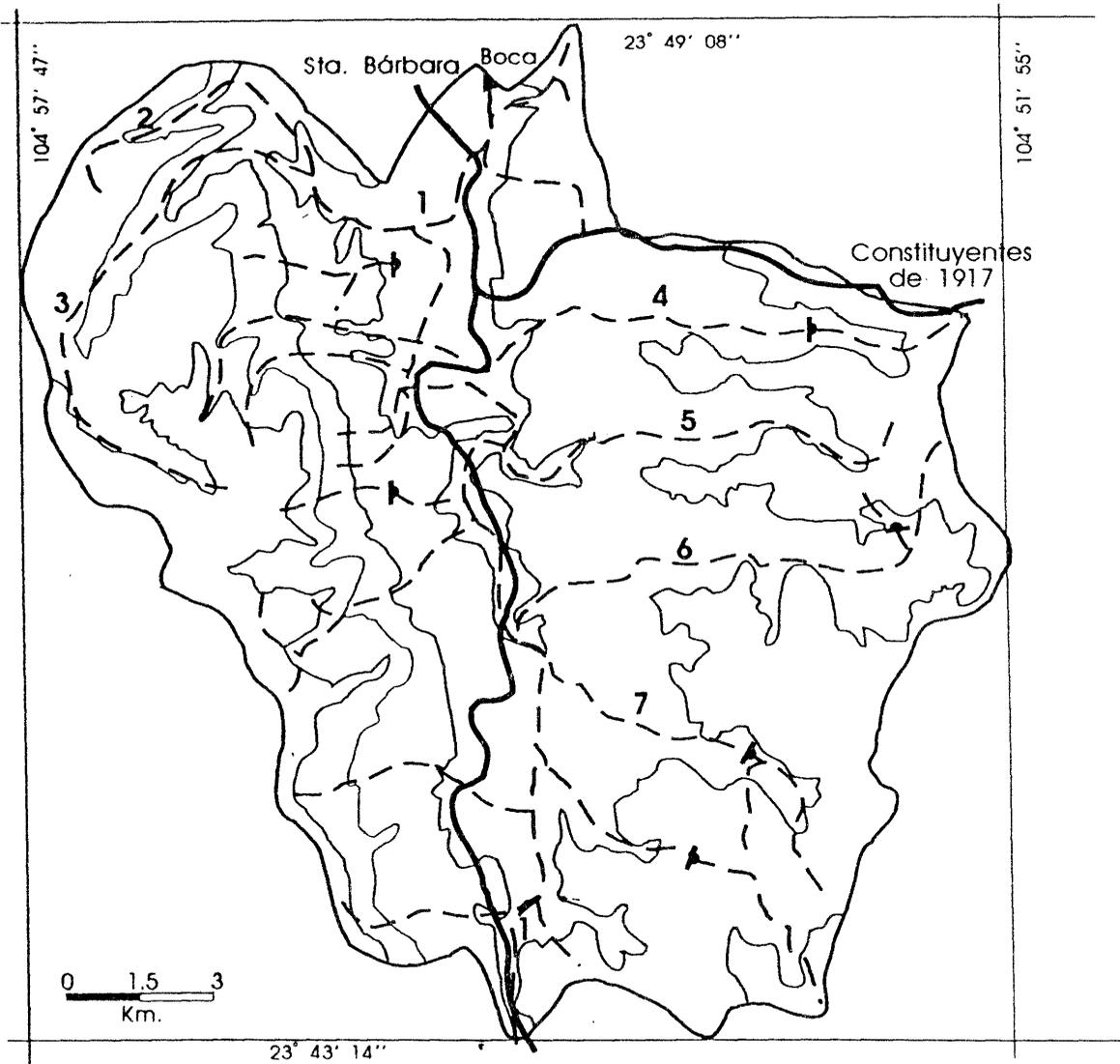
MATERIALES Y METODOS

Descripción General del Area de Estudio

El presente estudio se realizó en la Cuenca Hidrológica "Paso de Piedra", en la región forestal de la Sierra Madre Occidental, Municipio de Durango, Durango; el área de la cuenca es de 6,050 ha y esta ubicada en la Hacienda Ganadera Santa Bárbara, sus coordenadas geográficas son $23^{\circ} 43' 14''$ y $23^{\circ} 49' 08''$ de latitud Norte y $104^{\circ} 51' 55''$ y $105^{\circ} 57' 47''$ de longitud Oeste (CETENAL, 1972; CETENAL, 1973) (Figura 3.1). La Cuenca se encuentra al oeste de la Cd. de Durango, Dgo., para llegar a ella se utiliza la carretera federal número 40 Matamoros-Mazatlán, en el Km 47 del tramo Durango-Mazatlán se desvía 13 Km al sur sobre un camino de terracería, punto donde se localiza la boca de la cuenca.

Hidrología

Los cauces principales de la Cuenca estan constituidos por arroyos, que llevan sus corrientes al Río Chico y son embalsados en la Presa Guadalupe Victoria, el área forma parte de la cuenca hidrológica del Río San Pedro, Región Hidrográfica número 11 "Presidio-San Pedro" (INEGI, 1989). El cauce principal es el Arroyo Paso de Piedra y sus afluentes principales son los Arroyos La Cocona, El Refugio, Los



- SIMBOLOGÍA**
- 1 ARROYO PASO DE PIEDRA
 - 2 ARROYO LOS ADRIANES
 - 3 ARROYO PALOS PRIETOS
 - 4 ARROYO GANDARA
 - 5 ARROYO CHARCOS DE PAEZ
 - 6 ARROYO EL REFUGIO
 - 7 ARROYO LA COCONA
 - CURVAS EQUIDISTANTES A 100 MTS.
 - LIMITE DE LA CUENCA
 - ARROYOS
 - CAMINO DE TERRACERÍA
 - ▤ BORDOS

Figura 3.1 Area de estudio de la Cuenca Hidrológica "Paso de Piedra", Durango, México.

Adrianes, Gándara, Charcos de Páez y Palos Prietos (CETENAL, 1972; CETENAL, 1973). El abastecimiento de agua al ganado es a través de bordos acondicionados como bebederos, construidos sobre los arroyos Paso de Piedra, La Cocona, El Refugio, Gándara y Palos Prietos (Trujillo, 1986) (Figura 3.1).

Vegetación

El tipo de vegetación es un bosque de coníferas de pino y encino, con áreas de pastizal intermontano de especies nativas e inducidas (CETENAL, 1976a; CETENAL, 1976b). Las especies características en el área de estudio reportadas por Trujillo (1986) se presentan en el Cuadro 3.1.

Clima

Según la clasificación climática de Köppen, modificado para México por García (1973) al área le corresponde un clima:

$$C(w_2) \text{ y } C(e)(w_2)$$

$C(w_2)$ presenta temperatura anual entre 12 y 18 °C, el mes más frío entre -3 y 18 °C; por su régimen de lluvias es el más húmedo de los templados subhúmedos, con lluvias de verano y coeficiente P/T es mayor de 55.0.

$C(e)(w_2)$ presenta temperatura media anual entre 12 y 18 °C, con oscilaciones de temperatura extremas entre 7 y 14 °C, el mes más frío entre -3 y 18 °C; por su régimen de lluvias, es el más húmedo de

CUADRO 3.1. Especies vegetales principales presentes en la cuenca "Paso de Piedra", Durango. (Trujillo, 1986).

NOMBRE CIENTIFICO	NOMBRE COMUN
ARBOREAS	
<i>Pinus cooperi</i>	pino albacarrote
<i>P. engelmanni</i>	pino real
<i>P. leiophyla</i>	pino prieto
<i>P. teocote</i>	pino rosillo
<i>P. duranguensis</i>	pino blanco o pino real 6 hojas
<i>P. ayacahuite</i>	pino cahuite
<i>P. lumholtzii</i>	pino triste
<i>Quercus intricata</i>	encino charrasquillo
ARBUSTIVAS	
<i>Quercus arizonica</i>	encino blanco
<i>Q. grisea</i>	encino gris
<i>Q. crasifolia</i>	encino prieto
<i>Q. rubiaceae</i>	encino
<i>Juniperus sp.</i>	tascate
<i>Arbutus sp.</i>	madroño
<i>Arctostaphylus sp.</i>	manzanita
HERBACEAS	
<i>Trifolium repens</i>	trébol blanco
<i>T. pratense</i>	trébol rojo
<i>Medicago denticulata</i>	carretilla
GRAMINEAS	
<i>Heteropogon contortus</i>	zacate barba negra
<i>Muhlenbergia monticola</i>	zacate
<i>Bouteloua gracilis</i>	zacate navajita azul
<i>B. curtipendula</i>	zacate banderita
<i>Sporobolus sp.</i>	zacatón
<i>Cynodon plectostachium</i>	zacate estrella o pata de gallo
<i>Poa sp.</i>	zacate
<i>Festuca sp.</i>	zacate festuca
<i>Bromus sp.</i>	zacate bromo
<i>Setaria sp.</i>	zacate
<i>Aristida sp.</i>	zacate tres puntas
<i>Piptochaetium sp.</i>	zacate
<i>Eragrostis sp.</i>	zacate
<i>Cyperus esculentus</i>	zacate coquito
<i>Carex schideana</i>	zacate junquillo

los templados subhúmedos, con lluvias de verano y coeficiente P/T es mayor de 55.0.

De acuerdo a la estación climática localizada en la Hacienda Santa Bárbara, aproximadamente 500 m de la boca de la Cuenca, el climograma de temperatura y precipitación pluvial promedio registradas hasta 1992 se muestra en la Figura 3.2.

Suelo

El asiento geológico del área de estudio data del período Cenozóico Medio Volcánico; el suelo es derivado de rocas ígneas, con profundidad media de 25 a 50 cm, la pedregosidad es de seis por ciento, color castaño oscuro, textura de franca a franca-arcillo-arenoso, estructura de bloques angulares finos a granular, consistencia moderadamente dura a dura, pH de 5.8 a 6.5, presenta un alto contenido de materia orgánica en diversos grados de humificación. De acuerdo a la clasificación de suelos de la FAO-UNESCO modificada por DETENAL, los tipos de suelos son cambisol eútrico, regosol eútrico, feozem háplico y litosol (CETENAL, 1976a; CETENAL, 1976b; Trujillo, 1986).

Uso del Suelo

Desde el año de 1946 la Cuenca "Paso de Piedra" ha tenido como actividad primaria la explotación ganadera; de igual manera a partir de 1987 se están realizando aprovechamientos de madera, los cuales habían sido suspendidos desde 1965, cuando fueron intervenidos para aplicar el

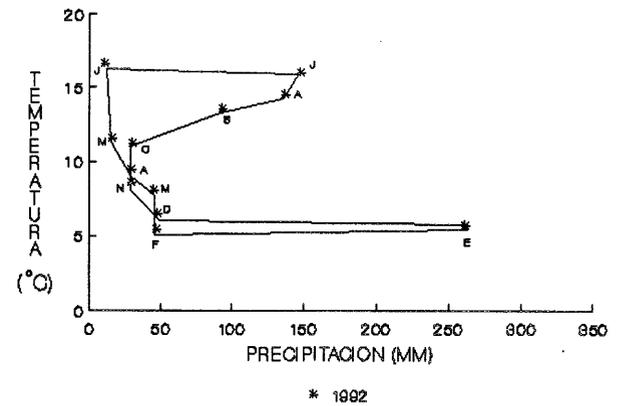
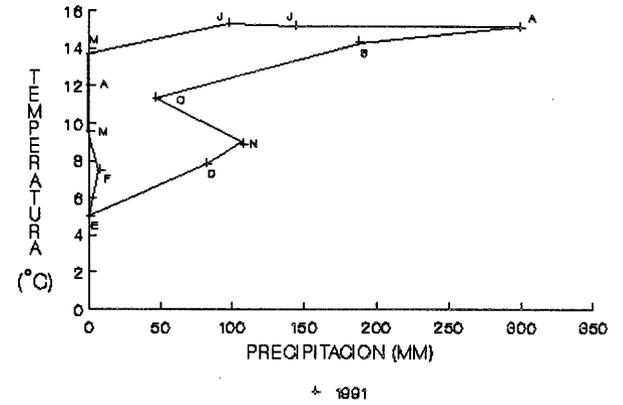
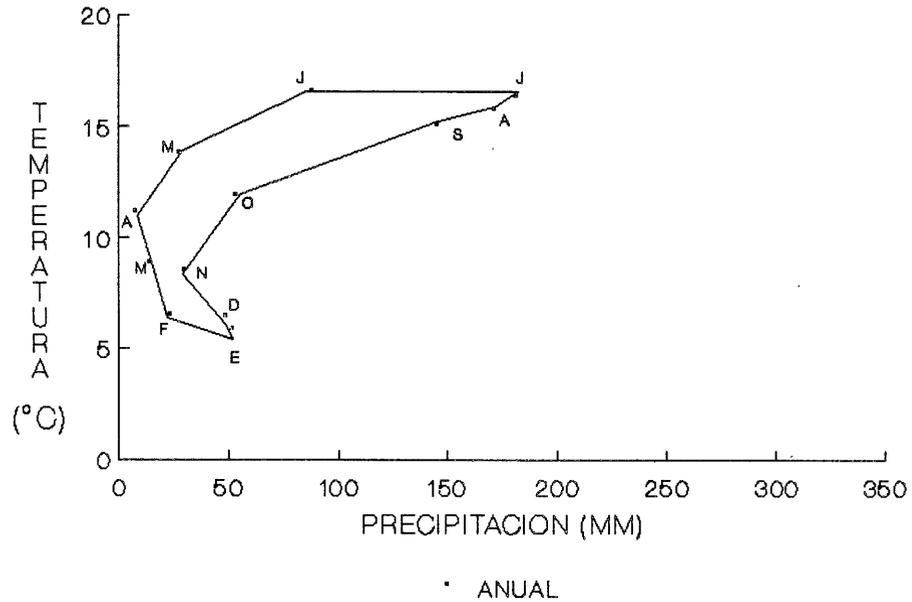


Figura 3.2. Climograma temperatura-precipitación anual, 1991 y 1992 de la estación climática "Santa Bárbara", Durango, México.

Método de Ordenación de Selección. Por lo anterior, la cuenca presenta una actividad de uso múltiple con actividades forestales y pecuarias, puesto que la cuenca cuenta con una superficie del pastizal excelente y susceptible de pastorear y donde es posible explotar madera, ambos usos son aplicados de manera conjunta en un área de 3,843 ha, (Trujillo, 1986). El manejo del uso forestal y del pastizal en el área son descritos por Trujillo (1986) de la siguiente forma:

- El sistema de manejo forestal es realizado bajo los lineamientos del Manejo Integral de los Recursos Forestales, adaptado a la metodología y principios del Método de Desarrollo Silvícola (MDS); para ello se realiza una división dasocrática en rodales, subrodales y series en la aplicación de los tratamientos silvícolas para la regulación del bosque. Se utilizan cinco tratamientos de regulación del bosque: Primero, Segundo y Tercer Aclareo, Corta de Regeneración y Corta de Liberación con o sin Preaclareo, con un turno de 70 años e intervención de 14 años (Cuadro 3.2). La extracción de los trozos se realiza con malacate, montado en un camión grúa diseñado para tal propósito, y en algunos lugares con animales de yunta.

- El sistema de manejo pecuario en el área es realizado a través de la explotación de becerros al destete para el mercado nacional e internacional. La utilización del pastizal es extensiva con una carga de 16 ha/UA, en un sistema rotacional diferido. La densidad de animales en el área es de 500 hembras-vientre y 32 sementales de las razas Herford, Brangus, Simental y Cebuínas (Brahaman e Indobrasil).

CUADRO 3.2. Tratamientos de regulación del bosque por el Método de Desarrollo Silvícola aplicados en la cuenca "Paso de Piedra", Durango. (Trujillo, 1986).

Tratamiento	Símbolo	Edad de la masa forestal (años)	
		Promedio	Rango tolerable
Primer aclareo	1A	28	21 A 34
Segundo aclareo	2A	42	35 A 48
Tercer aclareo	3A	56	49 A 62
Corta de regeneración	CR	70	> A 63
Corta de liberación con preaclareo (*)	CL	Se realiza cuando existe dos pisos bien definidos (árboles padres y regeneración natural establecida, se aplica al primer piso).	

(*) Se dirige a los manchones de renuevos cuyas densidades rebasen el límite de cierre de copas y suprimidos o las condiciones de 3.0 m^2 de área basal ó 2,500 renuevos por hectárea, para el desarrollo del arbolado residual.

Descripción de los sitios de estudio

Los sitios de estudio se seleccionaron de acuerdo al uso de los recursos de la cuenca, para lo cual se tomó en cuenta el sistema de manejo del bosque y del pastizal; el uso del pastizal en los sitios de estudio con pastoreo se realiza mayormente en los espacios abiertos de los sitios con tratamientos silvícolas, utilizando la misma carga animal (16 ha/UA).

Sitio 1. Superficie forestal con segundo aclareo y pastoreo (2AC).

Etapa joven de desarrollo del rodal, con árboles de edades entre 35 y 48 años. El aprovechamiento es realizado para

obtener productos maderables de aserrío, cortas dimensiones, pilotes, tutores y leña; en el sitio se eliminan árboles del estrato superior para evitar la competencia, se talan árboles mal conformados, plagados y enfermos o con alguna característica no deseable, con el fin de mejorar el crecimiento y la calidad y cantidad de madera en la siguiente intervención silvícola. Superficie de 105.8 ha.

Sitio 2. Superficie forestal con segundo aclareo y sin pastorear (2AS). Presenta las mismas características descritas para el tratamiento silvícola del sitio 1. En este sitio, no se usó el pastizal en los dos años previos al inicio del estudio. Su superficie es de 62.5 ha.

Sitio 3. Superficie forestal de tercer aclareo y pastoreo (3AC). Etapa joven del desarrollo de rodal, con árboles de edades entre 49 y 62 años. Intervención del ciclo de corta para preparar y seleccionar el arbolado para la producción de semilla y el corte de árboles padres, y además, para producir madera de asierre, postes, pilotes, tutores y leña. Aquí, son eliminados árboles en el estrato superior para evitar la competencia, se aprovechan árboles con características no deseables que puedan afectar la conformación del arbolado y para mejorar el crecimiento y la calidad y cantidad de madera en la siguiente intervención silvícola. Superficie con 129.2 ha.

Sitio 4. Superficie forestal de tercer aclareo sin pastorear (3AS).

Presenta las mismas características descritas para el tratamiento silvícola del sitio 3. El uso del pastizal había sido suspendido 4 años antes del presente estudio. Superficie con 14.6 ha.

Sitio 5. Superficie forestal de corta de regeneración y pastoreo

(CRC). Etapa madura del desarrollo del rodal con árboles de edades mayores de 63 años. Intervención silvícola realizada para extraer todo el arbolado, excepto los árboles padres; los árboles dejados en pie son de buena calidad, sanos y con capacidad de producir semilla; la madera extraída es para triplay, productos primarios y secundarios de asierre, postes, pilotes, tutores y leña. Superficie con 65.8 ha.

Sitio 6. Superficie forestal de corta de regeneración sin pastorear

(CRS). Presenta las mismas características descritas para el tratamiento silvícola del sitio 5. El uso del pastizal había sido suprimido cuatro años antes de realizar el presente estudio. Superficie con 8.3 ha.

Descripción del Simulador

Se utilizó un simulador de lluvias construido en base al descrito por Wilcox *et al.* (1986), el mismo es portátil y de boquilla

fija (SS CO. fulljet 1/4 HH 14 WSQ) al cual se adaptó una válvula de paso (0.64 cm) para controlar la intensidad de lluvia.

El simulador consta de un rociador de cabeza y un tripié de soporte de altura ajustable (Figura 3.3). El rociador está montado en una placa triangular de acero y 30 cm por lado, la placa tiene tres tubos de acero soldados en la parte inferior de los vértices y por la parte superior tres soportes de varilla corrugada, en el centro esta insertado y soldado un niple de 1.94 cm de diámetro; el armazón del rociador esta constituido por un flujómetro de baja presión (2 Kg/cm^2), una válvula de paso 1.94 cm de diámetro, cuatro coples 1.94 cm de diámetro, de 3, 5 y dos de 20 cm de largo; dos coples 1.27 y 0.64 cm de diámetro, de 2 cm de largo; un codo y una conexión T de 1.94 cm.

El tripié de soporte del ensamblaje consta de seis tubos de 150 cm de largo, tres de ellos galvanizados de 1.27 cm de diámetro insertados en tres tubos cromados de 2.54 cm de diámetro. El rociador de cabeza se ensambla en el tripié por medio de los tubos situados en la placa, la altura se ajusta con los tubos del tripié.

La cortina contra el viento está formada por tres plásticos triangulares de polietileno y unidos con hilo de cáñamo; ésta cortina es ganchada en las varillas de la placa y es fijada alrededor del simulador al raz del suelo para evitar el efecto del viento, dejando una entrada para el monitoreo de la presión y el control del flujo de agua en el rociador de cabeza.

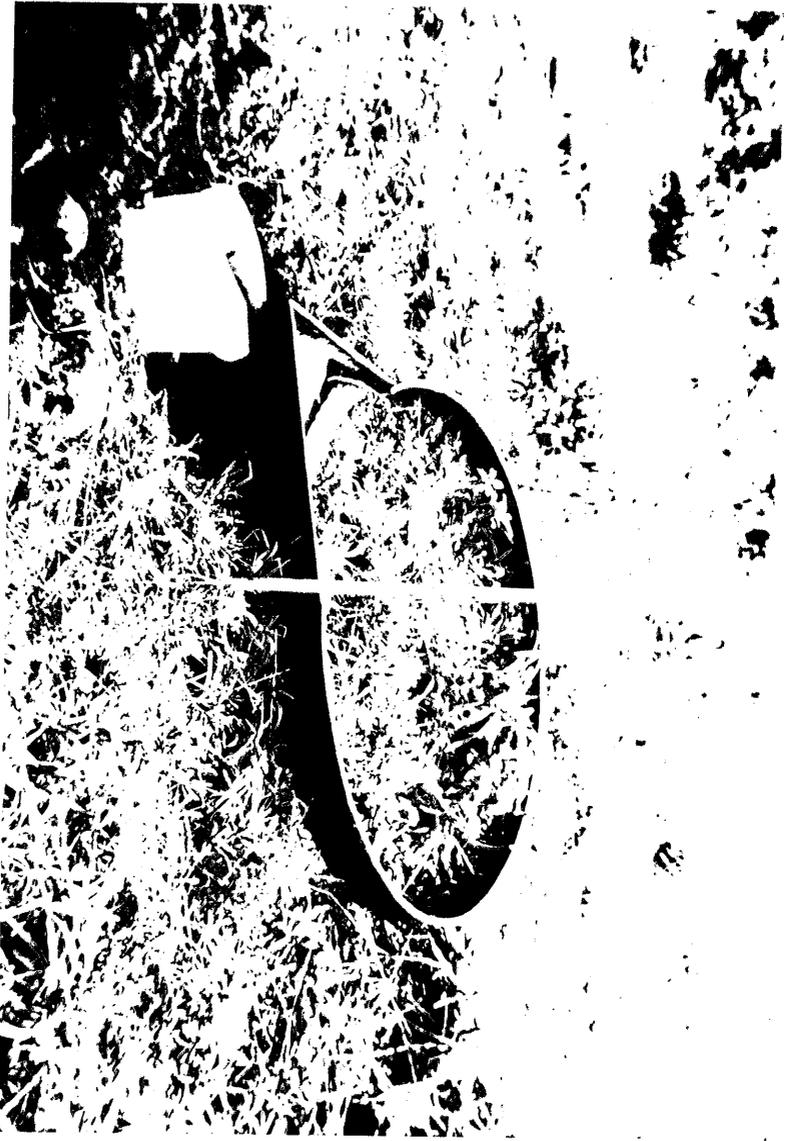


Figura 3.3. Simulador de Lluvia.

Metodología

La cuenca en estudio fue seleccionada previa consideración de los objetivos del trabajo, para lo cual se realizaron recorridos preliminares para localizar áreas con uso pecuario en la región boscosa de la Sierra Madre Occidental en el Estado de Durango. Una vez localizada el área, se escogieron los sitios de estudio en base a las características del aprovechamiento forestal y ganadero, es decir la selección de sitios de extracción de madera con diferentes tratamientos silvícolas con y sin utilización del pastizal.

Simulación de Lluvia

Las pruebas de simulación de lluvias se realizaron del 24 de julio al 9 de agosto de 1991 y del 29 de julio al 12 de agosto de 1992, realizando cuatro y seis muestreos en cada año, respectivamente.

Se utilizaron parcelas de muestreo de un metro de diámetro, delimitadas por un aro metálico, el cual se enterró en el suelo a una profundidad de cinco centímetros, insertando una canaleta en la parte inferior del aro; enseguida se montó el simulador a una altura de 152 cm del suelo a la boquilla y al mismo tiempo se niveló con el centro de la parcela; la parcela fue cubierta con un plástico para evitar que al momento de regular la intensidad de lluvia ésta incidiera sobre la parcela; posteriormente, se instaló la cortina rompevientos.

Una vez instalado el simulador de lluvia, se reguló y aplicó una intensidad de 10.47 cm/hr, enseguida se retiró el plástico de la parcela y se inició la aplicación de la lluvia sobre la misma, cada evento de simulación en las parcelas tuvo una duración de 30 minutos. La alimentación del flujo de agua al simulador provenía por gravedad de un tonel de 200 litros, adaptado para tal propósito; además, se contó con tres toneles más para el almacenamiento y recarga de agua durante las pruebas de simulación.

Estimación de la Tasa de Esgurrimiento

El volumen de esgurrimiento se determinó a los 5, 10, 15, 20, 25 y 30 minutos, utilizando recipientes de 8 litros de capacidad. La tasa de esgurrimiento (cm/hr) fue calculada a partir del volumen de esgurrimiento colectado, de la siguiente manera:

$$\text{Tasa de Esgurrimiento} = \frac{\text{Volumen de Esgurrimiento (cm}^3\text{)}}{\text{Area de la parcela (cm}^2\text{)}} * \frac{12}{1 \text{ hr}}$$

Estimación de la Infiltrabilidad

La infiltrabilidad se determinó por la diferencia de la intensidad de lluvia aplicada y la tasa de esgurrimiento en cada período de cinco minutos.

$$\text{Infiltrabilidad} = \text{Intensidad de Lluvia} - \text{Tasa de Esgurrimiento}$$

Estimación de la Concentración de Sedimentos

En cada período de cinco minutos se tomó una muestra de 500 mililitros del escurrimiento recolectado para separar los sedimentos disueltos en el agua con papel filtro; estos filtros fueron llevados a laboratorio y secados en estufa a una temperatura de 65 °C hasta obtener un peso constante.

Estimación de la Erosión

La erosión (Kg/ha) fue determinada como el producto de la concentración de sedimentos (Kg/lt) y el escurrimiento colectado (lt) para cada período de cinco minutos, y dividido entre la superficie de la parcela de muestreo (ha).

$$\text{Erosión} = \frac{\text{Concentración de Sedimentos} \times \text{Escorrimento}}{\text{Area de la Parcela}}$$

Estimación de Factores de Suelo

Contenido de Humedad y Densidad Aparente

Antes de iniciar la prueba de simulación, en la proximidad de cada parcela se obtuvo una muestra de suelo de 52.5 centímetros cúbicos con un extractor de núcleos, la cual fue pesada y después secada en estufa a 65 grados centígrados hasta que su peso fue constante. Con

esta información se estimó el contenido de humedad del suelo (%) por el método gravimétrico y la densidad aparente (g/cm^3) por la relación del peso seco del suelo y el volumen extraído, de acuerdo a lo siguiente:

$$\text{Humedad} = \frac{\text{Peso húmedo} - \text{Peso seco}}{\text{Peso seco}} (100 \%)$$

$$\text{Densidad aparente} = \frac{\text{Peso seco}}{\text{Volumen}}$$

Pendiente

El porcentaje de pendiente fue determinado sobre la parcela de muestreo por medio de un clisímetro.

Textura y Materia Orgánica

Al final de cada prueba de simulación, se colectó una muestra de suelo de cada parcela en el horizonte 0-10 cm, y se llevó a laboratorio para su análisis; la textura se determinó por el método del hidrómetro de Bouyoucus y el contenido de materia orgánica por el método de Walkey y Black.

Estimación de Factores de Vegetación

Para estimar algunos factores de vegetación, se ubicaron sitios circulares con un radio de 17.84 m ($1,000 \text{ m}^2$) a partir del centro de la parcela de las pruebas de simulación de lluvia.

Estimación de la Cubierta Vegetal

El porcentaje de cobertura del suelo fue estimado por el método de puntos de contacto (Pieper, 1973) modificado para un transecto de línea; se trazaron tres transectos a partir del perímetro del sitio a la parcela, el primer transecto se trazó en el sentido de la pendiente y los dos siguientes a un ángulo de 120 grados aproximadamente uno de otro. La longitud del primer transecto fue de 16 metros y los dos siguientes de 17 metros y los puntos de contacto de 25 centímetros, para ajustar un total de 200 registros de cobertura en las tres líneas; la cobertura del suelo se determinó para gramíneas, herbáceas, arbustos, hojarasca, microflora, piedras y grava, material parental y suelo desnudo.

Estimación de Fitomasa Aérea

La cantidad de material vegetal se estimó en las parcelas experimentales, colectándose el material gramíneas, herbáceo y arbustivo por el método de cosecha (Pieper, 1973) y la hojarasca manualmente, después se llevaron a laboratorio y se secaron en estufa a 65 °C hasta encontrar un peso constante, registrándose el peso seco por categoría y total.

Densidad de Pinos, Diámetro y Area Basal

El registro de los individuos se realizó en los sitios, obteniéndose la densidad de las especies de *Pinus* spp., a los cuales se

les midió su diámetro con una cinta diamétrica y posteriormente se calculó el área basal.

Densidad de Renuevos y Arbustivas

La densidad se realizó en los sitios, estimándose la densidad de renuevos para las especies de pinos (*Pinus* spp.), considerándose los individuos menores de cinco centímetros de diámetro y/o 2.5 metros de altura. La densidad de arbustos se registró para las especies de encino (*Quercus* spp.), tascate (*Juniperus* sp.), madroño (*Arbutus* sp.) y acacia (*Acacia* sp.).

Registro de Precipitación

Los datos de la precipitación se obtuvieron de la estación climática "Santa Bárbara"; utilizándose para este estudio la precipitación del día anterior a las pruebas de campo, dado que por lo general la simulación se estimó después de la precipitación de un determinado día, la cual ocurría regularmente por las tardes. Debido a que la estación se encuentra cerca de la boca de la cuenca, se consideró que la precipitación se presentó uniforme en el área de la cuenca, tomándose el dato registrado para cada muestreo cuando se realizaron las pruebas de simulación en los sitios de estudio respectivo.

Análisis Estadístico

Descripción de Tratamientos

De acuerdo a los objetivos establecidos los tratamientos se formaron utilizando dos factores, se uso como factor A el aprovechamiento forestal con tres niveles (tratamientos silvícolas) y como factor B el aprovechamiento del pastizal con dos niveles (con y sin pastoreo), quedando los tratamientos de la siguiente manera:

2AC = segundo aclareo con pastoreo

3AC = tercer aclareo con pastoreo

CRC = corta de regeneración con pastoreo

2AS = segundo aclareo sin pastoreo

3AS = tercer aclareo sin pastoreo

CRS = corta de regeneración sin pastoreo

Tomando en cuenta las recomendaciones de Wester (1992) en el sentido de no asumir y utilizar falsas repeticiones en una investigación, y dadas las características del experimento se utilizó solo una repetición por tratamiento, utilizándose cuatro y seis parcelas de muestreo por tratamiento en 1991 y 1992, respectivamente.

Diseño Estadístico

Para evaluar y cumplir con los objetivos del estudio, los datos de infiltrabilidad, concentración de sedimentos y erosión para cada período de cinco minutos se analizaron en un Diseño Completamente al

Azar con arreglo factorial de tratamientos y corrección por covarianzas del contenido de humedad del suelo y pendiente de la parcela experimental (Steel y Torrie, 1985).

Prueba de Medias

Posterior a los análisis de covarianza se realizaron pruebas de separación de medias utilizando el Método de Tukey (Steel y Torrie 1985).

Análisis de Correlación y Regresión Múltiple

Con el fin de determinar los factores de suelo, vegetación y precipitación que influyen en mayor grado en la infiltrabilidad, concentración de sedimentos y erosión en cada período de tiempo se procedió de la siguiente manera:

- Las variables expresadas en porcentaje se transformaron a valores angulares (Steel y Torrie, 1985), para asumir una distribución normal.

- Para evitar la dependencia lineal que exhiben algunas variables, se realizó una correlación parcial entre ellas y se desecharon las que no mostraran un coeficiente significativo al 0.05.

- Por último, se realizó el análisis de regresión múltiple usando el método "stepwise" para encontrar las variables más relacionadas con la infiltrabilidad, la concentración de sedimentos y la erosión.

RESULTADOS

Infiltrabilidad

La infiltrabilidad determinada en los sitios de estudio durante 1991 se muestran en la Figura 4.1. Se observa en la figura, que la mayor infiltrabilidad se presentó en los sitios de segundo aclareo con y sin pastorear, y la menor infiltrabilidad en el sitio de corta de regeneración sin pastorear. A los 5 y 10 min se presentó una gran variabilidad en los valores de infiltrabilidad, pero después de este tiempo, la tendencia de las curvas se vuelven constantes, apreciándose que los sitios con uso pecuario tuvieron mayor infiltrabilidad que los sitios sin uso del pastizal; también, se observa que el sitio de corta de regeneración pastoreado tuvo mayor infiltrabilidad que el sitio de tercer aclareo pastoreado y los sitios sin pastoreo de tercer aclareo y de corta de regeneración.

Durante 1992, la mayor infiltrabilidad se presentó en el sitio de corta de regeneración sin pastorear (Figura 4.2); en los primeros 15 min la infiltrabilidad en los demás sitios mostró variabilidad en sus curvas, a partir de los 20 min las curvas presentan la misma tendencia hasta el final de las estimaciones; durante los primeros 10 min, los tratamientos silvícolas de tercer aclareo exhibieron mayor infiltrabilidad que los tratamientos de segundo aclareo y de corta de

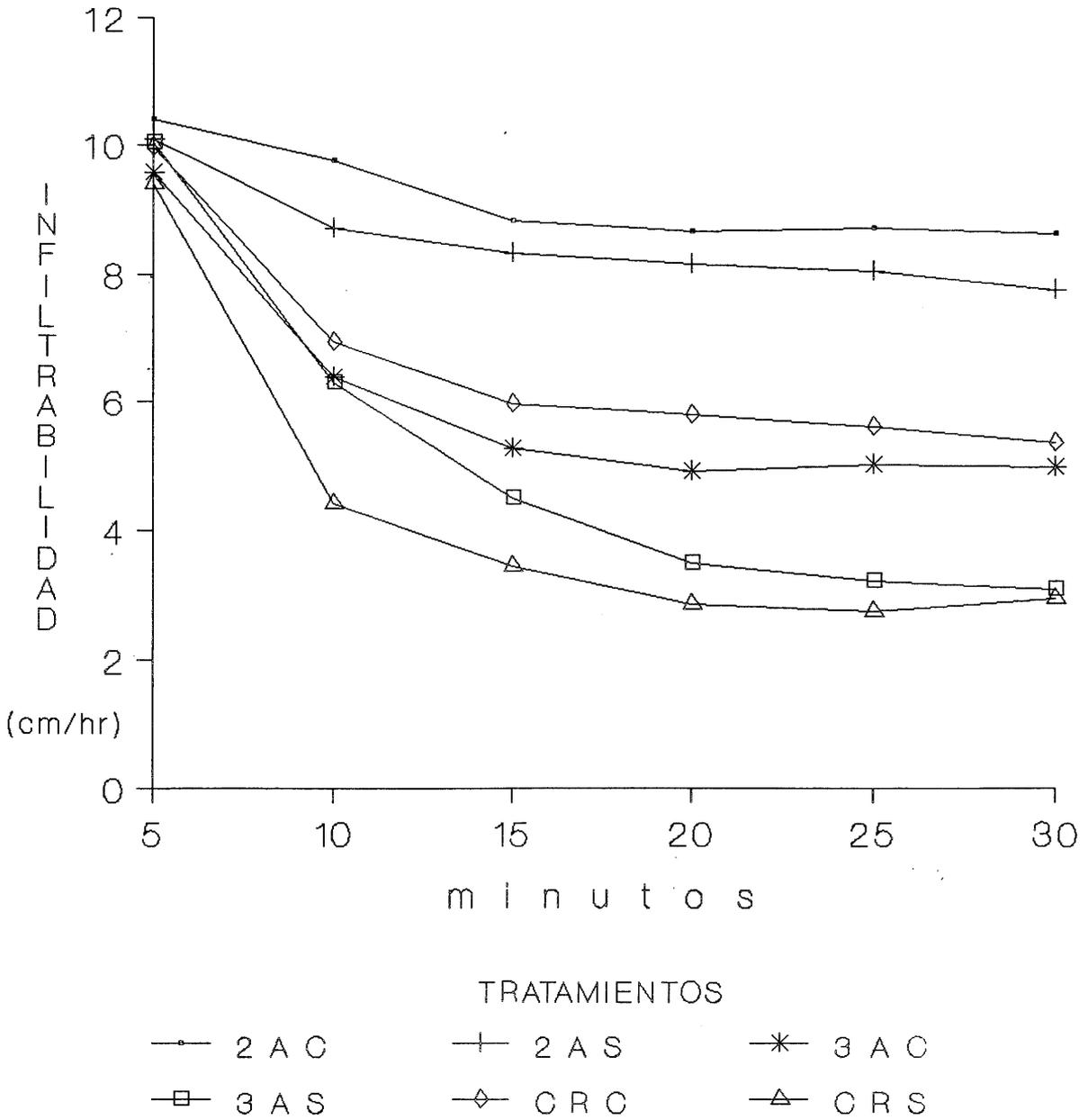


Figura 4.1. Infiltrabilidad (cm/hr) estimada en los sitios de estudio durante 1991.

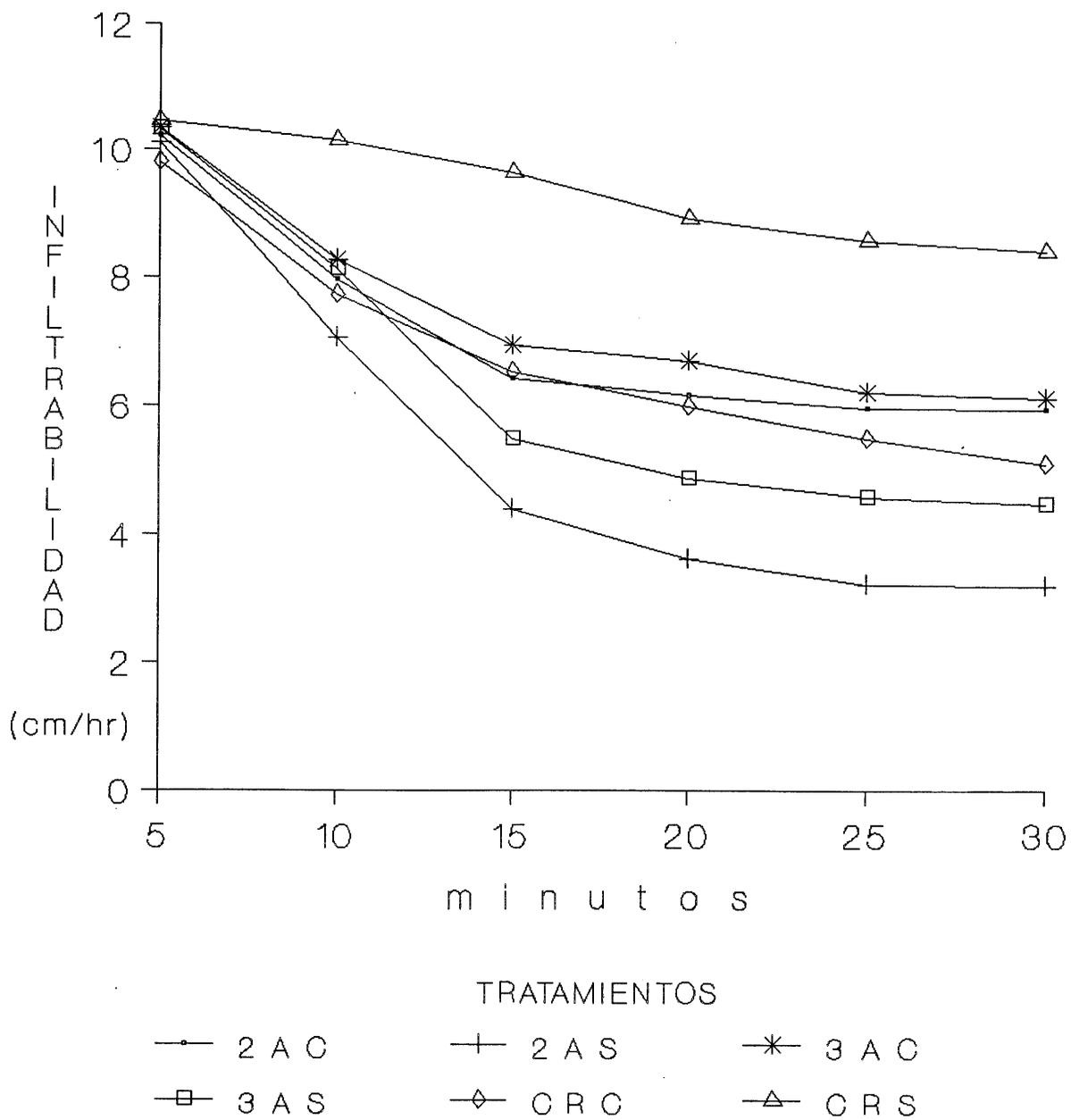


Figura 4.2. Infiltrabilidad (cm/hr) estimada en los sitios de estudio durante 1992.

regeneración pastoreados; a partir de los 15 min, los sitios con pastoreo tuvieron mayor infiltrabilidad que los sitios sin pastorear, a excepción del área corta de regeneración con pastoreo, y a los 20, 25 y 30 min se apreció una misma tendencia con la menor infiltrabilidad en estos últimos sitios sin uso del pastizal.

Por otro lado, las Figuras 4.1 y 4.2 muestran un contraste en la infiltrabilidad de los sitios en ambos años; durante 1991 el sitio con corta de regeneración sin pastorear exhibió la menor infiltrabilidad, mientras que en 1992 presentó la mayor infiltrabilidad; el sitio con segundo aclareo sin pastorear mostró en el segundo año de estudio la menor infiltrabilidad y el año anterior registró valores altos de infiltrabilidad; en los sitios con pastoreo, durante 1992 el tratamiento de tercer aclareo presentó la mayor infiltrabilidad, mientras que durante 1991 había mostrado los menores valores entre los sitios pastoreados; el sitio de tercer aclareo sin pastorear presentó en ambos años una baja infiltrabilidad.

El análisis estadístico de la infiltrabilidad de los dos años de estudio son mostrados en el Cuadro 4.1. En él se observa que durante 1991 el efecto del uso silvícola sobre la infiltrabilidad es significativo a partir de los 10 min y altamente significativo a partir de los 15 min, mientras que el efecto del uso pecuario y la interacción de los dos usos no tienen significancia en ningún período de tiempo. En el año de 1992, el uso silvícola tiene efectos significativos a los 15 y 20 min, y el factor uso pecuario no presentó ningún efecto significativo, pero la interacción del uso forestal-pecuario mostró

CUADRO 4.1. Valor de "F" del efecto del uso forestal (A), uso pecuario (B) e interacción de ambos factores (AB) sobre la infiltrabilidad y el efecto debido a las covariables humedad del suelo (H) y pendiente (P) en la cuenca "Paso de Piedra", Durango durante los dos años de estudio.

Año	Tiempo (minutos)	Factores			Covariables	
		A	B	AB	H	P
1991	5	1.56 ns	0.23 ns	1.25 ns	2.13 ns	0.66 ns
	10	5.00 *	1.56 ns	0.53 ns	1.37 ns	0.07 ns
	15	6.24 **	1.58 ns	0.40 ns	1.32 ns	0.28 ns
	20	9.86 **	3.40 ns	0.64 ns	1.43 ns	0.70 ns
	25	10.43 **	4.20 ns	0.53 ns	1.08 ns	0.67 ns
	30	9.57 **	3.87 ns	0.27 ns	1.37 ns	0.78 ns

1992	5	0.45 ns	0.84 ns	1.56 ns	1.13 ns	0.02 ns
	10	1.74 ns	0.53 ns	2.54 ns	0.11 ns	0.01 ns
	15	4.50 *	0.03 ns	4.73 *	0.22 ns	0.61 ns
	20	3.43 *	0.39 ns	4.56 *	0.06 ns	0.41 ns
	25	2.89 ns	0.27 ns	4.50 *	0.10 ns	0.60 ns
	30	2.32 ns	0.20 ns	4.92 *	0.02 ns	0.30 ns

significancia a partir de los 15 min hasta el final de la prueba. Respecto al efecto de las covariables debe mencionarse que tanto la humedad del suelo como la pendiente no presentaron efectos significativos sobre la infiltrabilidad en ambos años de estudio.

Los resultados obtenidos con la prueba de separación de los valores medios de infiltrabilidad de los diversos tratamientos tanto en 1991 como en 1992 son mostrados en el Cuadro 4.2. En el año de 1991 se observa que los tratamientos silvícolas con pastoreo (b1) son estadísticamente semejantes en todos los períodos de tiempo; por otro lado, en los sitios sin pastorear (b2), la infiltrabilidad mostró diferencias entre los sitios de segundo aclareo (a1) y corta de regeneración (a3), a los 20 y 25 min. En 1992 los sitios sin pastoreo presentaron diferencias entre sitios con diferente uso silvícola; a los 15 min los sitios de segundo y tercer aclareo tienen diferente infiltrabilidad comparados con el sitio de corta de regeneración; a los 20, 25 y 30 minutos existen diferencias entre los sitios de segundo aclareo y corta de regeneración, pero el sitio de tercer aclareo no presenta ninguna diferencia con los sitios anteriores.

Concentración de Sedimentos

La concentración de sedimentos estimada en los sitios de estudio durante 1991 se muestra en la Figura 4.3. Se observa que a los cinco minutos de iniciadas las pruebas de simulación de lluvia la mayor concentración de partículas se presentó en el sitio de tercer aclareo

CUADRO 4.2. Valores medios de la infiltrabilidad (cm/hr) de los tratamientos en la cuenca "Paso de Piedra", Durango durante los dos años de estudio y su significancia estadística en la prueba Tukey.

Año	Tiempo (minutos)	Tratamientos					
		a1b1	a1b2	a2b1	a2b2	a3b1	a3b2
1991	5	10.40a	10.10a	9.57a	10.04a	9.56a	9.39a
	10	9.75a	8.70ab	6.37ab	6.28ab	6.94ab	4.40b
	15	8.82a	8.32ab	5.26ab	4.49b	5.96ab	3.43b
	20	8.64a	8.13ab	4.90abc	3.48bc	5.78abc	2.85c
	25	8.69a	8.02ab	5.01abc	3.21bc	5.61abc	2.73c
	30	8.60a	7.74ab	4.98ab	3.08b	5.36ab	2.94b
1992	5	10.21a	10.11a	10.34a	10.32a	9.81a	10.45a
	10	7.95a	7.06a	8.26a	8.11a	7.73a	10.15a
	15	6.43ab	4.39b	6.96ab	5.49b	6.54ab	9.64a
	20	6.17ab	3.60b	6.71ab	4.85ab	5.98ab	8.90a
	25	5.96ab	3.21b	6.21ab	4.57ab	5.48ab	8.57a
	30	5.94ab	3.18b	6.13ab	4.45ab	5.09ab	8.41a

Los valores con letra igual entre columnas indican que no existe diferencia entre tratamientos con probabilidad del cinco por ciento

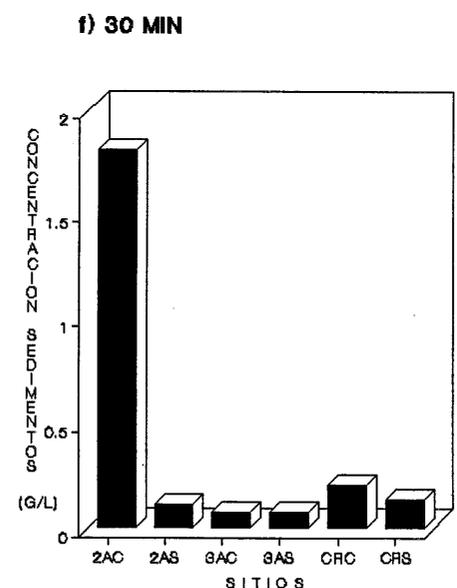
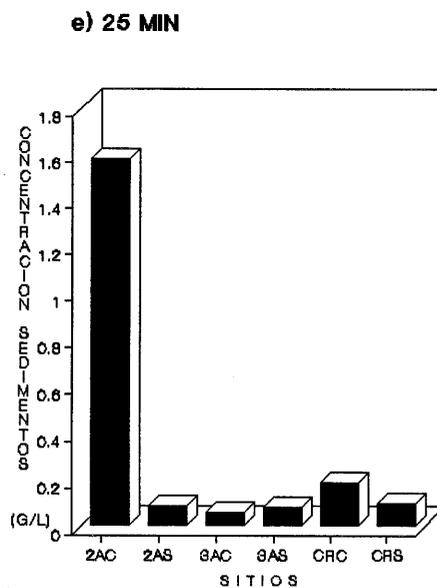
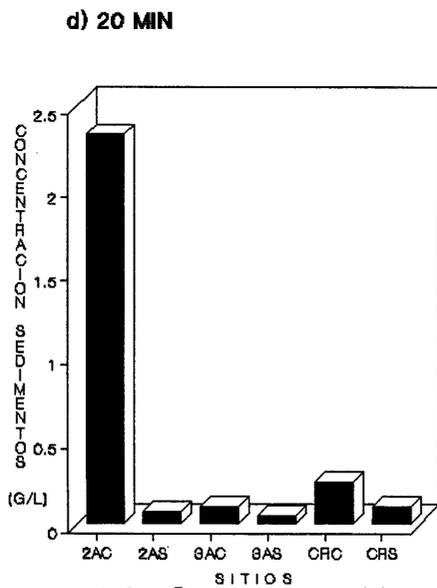
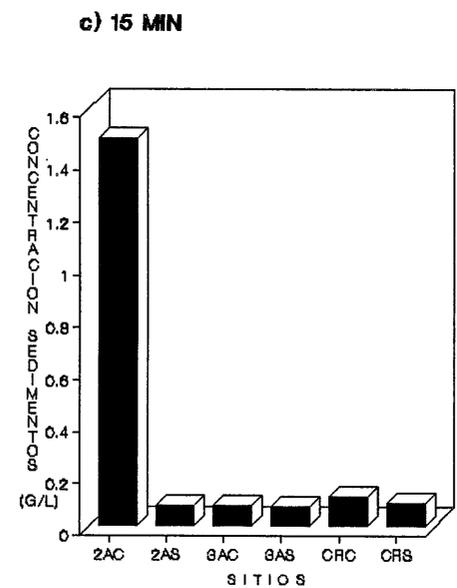
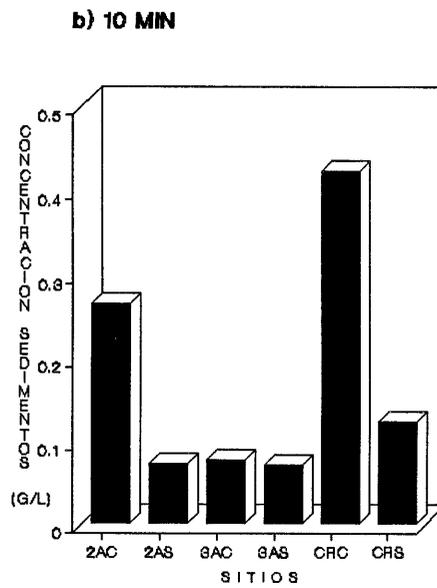
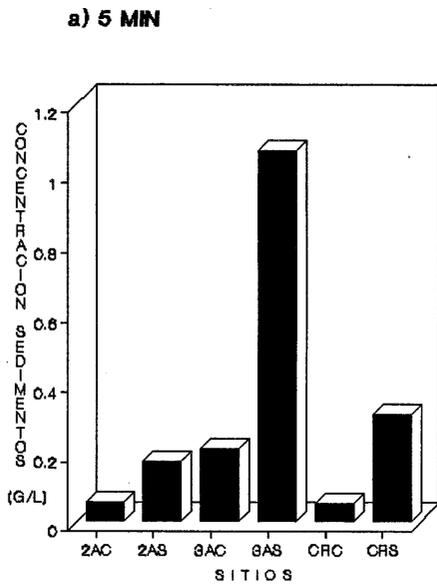


Figura 4.3. Concentración de sedimentos (g/l) estimada en los sitios de estudio durante 1991.

sin pastoreo, seguido por el sitio de corta de regeneración sin pastoreo, además, se observa en este período inicial que los sitios con uso pecuario tuvieron menor contenido de sedimentos que los sitios sin pastorear. A los 10 min la mayor concentración de partículas ocurrió en el sitio de corta de regeneración pastoreado; a partir de los 15 min y hasta el final de las estimaciones el sitio de segundo aclareo con uso pecuario exhibió la mayor concentración de sedimentos, teniendo los otros cinco tratamientos concentraciones muy similares. A partir de los 10 min y hasta el período final de 30 min, las áreas silvícolas de segundo aclareo y corta de regeneración mostraron mayor concentración de sólidos en sitios con uso pecuario que en sitios sin uso del pastizal.

Durante el año de 1992, en el período de cinco minutos la mayor concentración de sedimentos se presentó en el sitio de tercer aclareo pastoreado, mientras que el sitio de corta de regeneración sin pastoreo tuvo la mayor concentración de sedimentos en los períodos de 10, 15 y 20 min, pero a los 25 y 30 min el sitio de tercer aclareo con pastoreo volvió a exhibir la mayor concentración de sedimentos (Figura 4.4). En los sitios de segundo aclareo y corta de regeneración la concentración de sedimentos fue mayor cuando no se incluyó pastoreo, mientras en las áreas de tercer aclareo, los sitios pastoreados tuvieron mayor concentración de partículas que los sitios sin uso del pastizal. Por otro lado, en las Figuras 4.3 y 4.4 se observa que en el año de 1991 la concentración de sedimentos presenta valores medios más altos que durante el año de 1992. Además, en 1991 los sitios de segundo aclareo (a excepción del período de cinco minutos) y los sitios de corta de

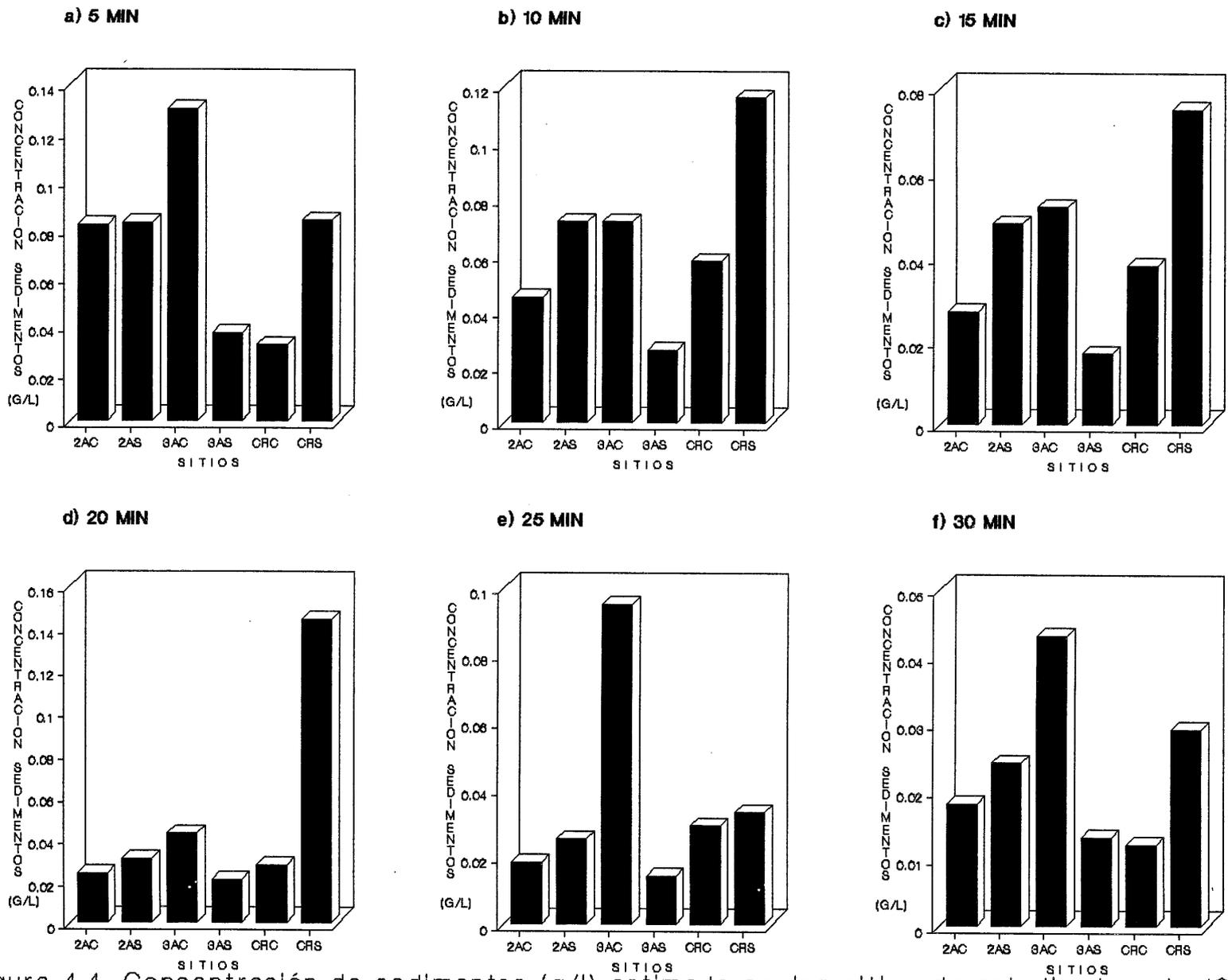


Figura 4.4. Concentración de sedimentos (g/l) estimada en los sitios de estudio durante 1992.

regeneración pastoreados tuvieron mayor concentración que los sitios sin pastoreo, mientras en 1992 fueron los sitios sin uso pecuario los que exhibieron la mayor concentración de sedimentos.

Los análisis de covarianza para determinar el efecto del aprovechamiento forestal y pecuario, la interacción de ellos y la influencia de las covariables humedad del suelo (H) y pendiente (P) sobre la concentración de sedimentos mostró en el año 1991 que no existe significancia alguna entre tratamientos (Cuadro 4.3). Durante 1992 se presentó una alta significancia a los 30 min de la prueba causada por la interacción de ambos uso; además, la humedad influyó de manera significativa a los 10 min y altamente significativa a los 30 min. Los resultados de la separación de medias Tukey se muestran en el Cuadro 4.4, en el se puede observar que a los 30 min el sitio tercer aclareo con pastoreo fue diferente al sitio de segundo aclareo con pastoreo y al de corta de regeneración con pastoreo, presentándose valores similares en los demás tratamientos.

Erosión

La erosión laminar estimada en los sitios de estudio en el primer año se muestra en la Figura 4.5. En ésta figura se aprecia que la mayor erosión se presentó en el sitio de corta de regeneración sin pastoreo a los 5, 10, 20, 25 y 30 min; mientras tanto, en el período de 15 min el sitio de corta de regeneración pastoreado presentó el valor más alto de erosión; también, se observa que la menor erosión a los 5,

CUADRO 4.3. Valor de "F" debido al efecto del uso forestal (A), uso pecuario (B) e interacción de ambos factores (AB) sobre la concentración de sedimentos y el efecto de las covariables humedad del suelo (H) y pendiente (P) en la cuenca "Paso de Piedra", Durango durante los dos años de estudio.

Año	Tiempo (minutos)	Factores			Covariables	
		A	B	AB	H	P
1991	5	1.60 ns	2.50 ns	0.75 ns	0.19 ns	0.09 ns
	10	1.00 ns	2.16 ns	0.59 ns	0.67 ns	1.21 ns
	15	1.02 ns	1.09 ns	1.01 ns	0.64 ns	2.54 ns
	20	0.91 ns	1.18 ns	0.91 ns	0.67 ns	2.13 ns
	25	1.05 ns	1.21 ns	1.06 ns	0.54 ns	1.81 ns
	30	1.02 ns	1.11 ns	1.00 ns	0.80 ns	2.00 ns

1992	5	0.32 ns	0.01 ns	0.78 ns	0.23 ns	0.01 ns
	10	1.00 ns	0.25 ns	1.71 ns	6.79 *	0.19 ns
	15	1.04 ns	0.33 ns	2.55 ns	1.87 ns	0.27 ns
	20	1.01 ns	0.77 ns	1.19 ns	0.47 ns	0.15 ns
	25	1.17 ns	1.82 ns	2.18 ns	1.76 ns	0.68 ns
	30	1.24 ns	0.28 ns	9.28 **	7.67 **	0.36 ns

CUADRO 4.4. Valores medios de la concentración de sedimentos (g/l) de los tratamientos en la cuenca "Paso de Piedra", Durango durante los dos años de estudio y su significancia estadística en la prueba Tukey.

Año	Tiempo (minutos)	Tratamientos					
		a1b1	a1b2	a2b1	a2b2	a3b1	a3b2
1991	5	0.058a	0.175a	0.213a	1.066a	0.052a	0.311a
	10	0.265a	0.073a	0.078a	0.072a	0.423a	0.124a
	15	1.487a	0.082a	0.083a	0.075a	0.115a	0.089a
	20	2.325a	0.076a	0.104a	0.049a	0.252a	0.104a
	25	1.579a	0.084a	0.060a	0.082a	0.186a	0.099a
	30	1.806a	0.111a	0.076a	0.079a	0.205a	0.138a
1992	5	0.080a	0.082a	0.130a	0.063a	0.032a	0.085a
	10	0.047a	0.070a	0.072a	0.026a	0.059a	0.115a
	15	0.027a	0.049a	0.052a	0.017a	0.039a	0.075a
	20	0.024a	0.029a	0.041a	0.021a	0.028a	0.145a
	25	0.018a	0.026a	0.094a	0.015a	0.029a	0.026a
	30	0.020b	0.026ab	0.044a	0.014ab	0.012b	0.029ab

Los valores con letra igual entre columnas indican que no existe diferencia entre tratamientos con probabilidad del cinco por ciento

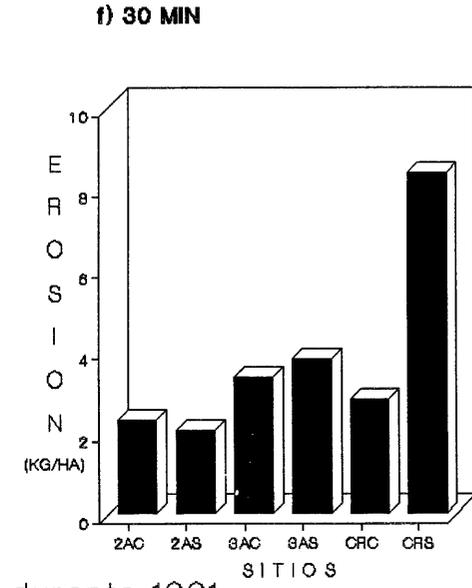
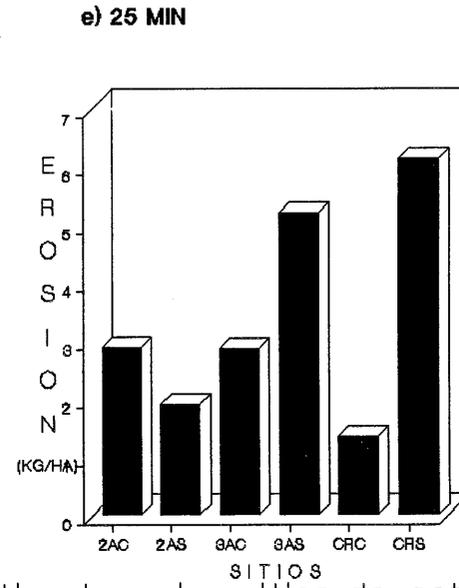
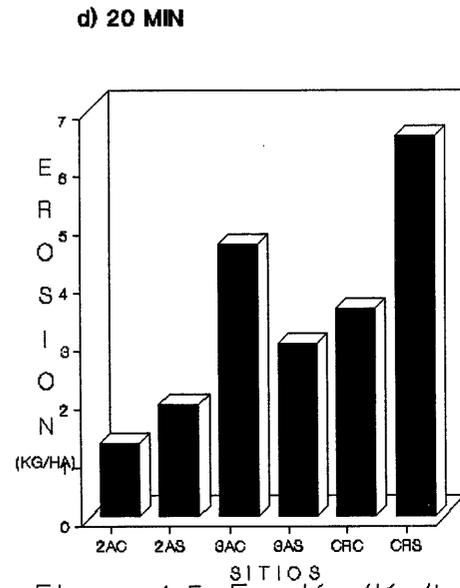
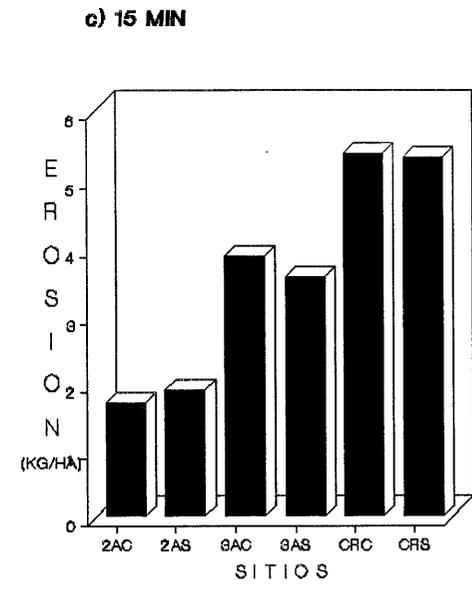
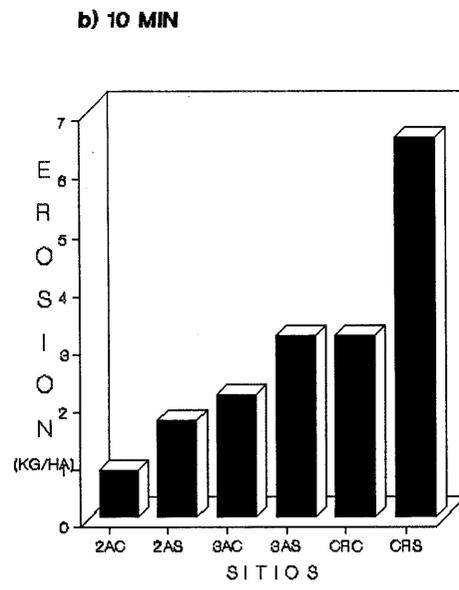
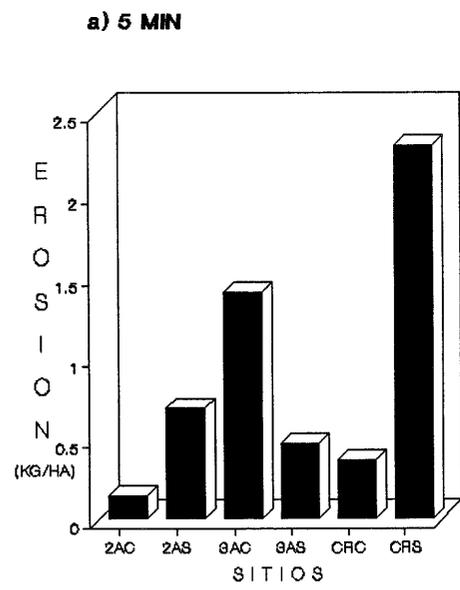


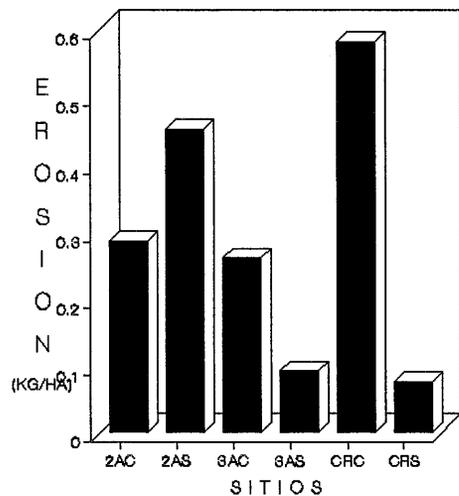
Figura 4.5. Erosión (Kg/ha) estimada en los sitios de estudio durante 1991.

10, 15 y 20 min se presentó en los sitios de segundo aclareo con pastoreo, a los 25 min se presentó en el sitio de corta de regeneración pastoreado, y a los 30 min el sitio de segundo aclareo sin pastoreo tuvo menor erosión.

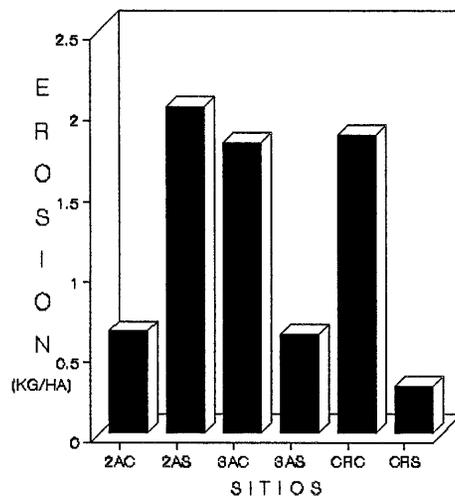
La erosión estimada durante 1992 se muestra en la Figura 4.6. En el período de tiempo inicial la mayor erosión fue exhibida por el sitio de corta de regeneración pastoreado; a partir de los 10 min y hasta el período final de 30 min el sitio de segundo aclareo sin pastorear mostró la mayor erosión; observándose además, que los sitios pastoreados de tercer aclareo y corta de regeneración tuvieron altos valores de pérdida de suelo, y este último sitio en el período de 30 min exhibió similar erosión al sitio de segundo aclareo sin pastorear; en todos los períodos de tiempo, el sitio de corta de regeneración sin pastorear exhibió la menor erosión; en las áreas de segundo aclareo el sitio pastoreado tuvo menor erosión que el sitio sin pastoreo, en las áreas pastoreadas de tercer aclareo y de corta de regeneración tuvieron mayor erosión que los sitios sin pastorear.

En las Figuras 4.5 y 4.6, se aprecia que en 1991 la erosión fue mayor que en 1992; durante el primer año, en todos los períodos de tiempo (excepto a los 15 min) el sitio corta de regeneración sin pastorear presentó la mayor erosión, y en 1992 tuvo la menor erosión en todos los períodos de tiempo; en el segundo año de estudio y hasta los primeros 20 min del primer año las áreas de segundo aclareo sin pastorear presentaron mayor erosión que el sitio pastoreado, solamente en el primer año, en los períodos de 25 y 30 min, el área pastoreada

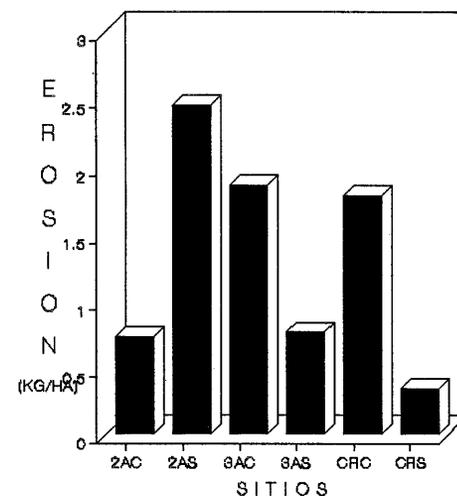
a) 5 MIN



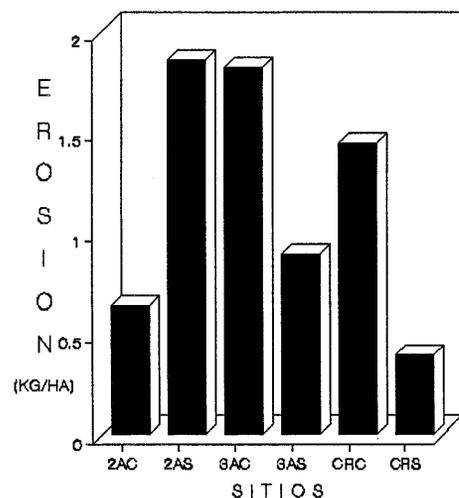
b) 10 MIN



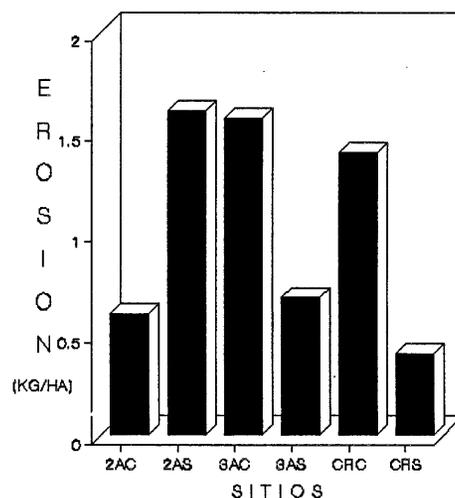
c) 15 MIN



d) 20 MIN



e) 25 MIN



f) 30 MIN

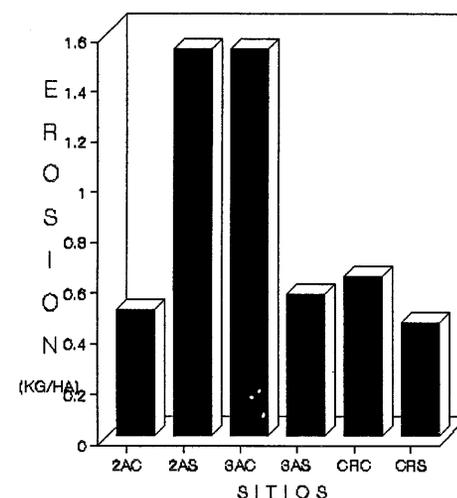


Figura 4.6. Erosión (Kg/ha) estimada en los sitios de estudio durante 1992.

tuvo mayor erosión que el área no pastoreada; en los sitios de tercer aclareo, el área pastoreada en el año 1991 mostró mayor erosión que las áreas sin pastorear a los períodos de 5, 15 y 20 min y durante 1992 en todos los períodos de tiempo.

El análisis de covarianza en el primer año mostró que el uso forestal fue significativo a los 20 min y la interacción de los usos forestal y pecuario altamente significativa a los 5 min, al igual que la covariable humedad (H); mientras el uso pecuario no presentó significancia en los períodos de tiempo (Cuadro 4.5). En el segundo año de estudio, el uso forestal y el uso pecuario no exhibieron efectos individuales sobre la erosión en ningún período de tiempo, pero la acción conjunta de ambos usos fue altamente significativa a los 15 y 25 min y significativa a los 30 min; mientras que las covariables no presentaron significancia en ningún período de tiempo (Cuadro 4.5).

Al realizar la separación de valores medios de erosión para el año de 1991, en el período de cinco minutos se encontró que la erosión tuvo diferencias en las áreas silvícolas pastoreadas (b1) entre el sitio de segundo aclareo y los sitios de tercer aclareo (a2) y corta de regeneración (a3) (Cuadro 4.6); en las áreas sin pastorear (b2), a los 20 y 30 min la erosión hubo diferencias entre los sitios de segundo aclareo (a1) y corta de regeneración (a3). En el segundo año, la erosión de las áreas boscosas con uso pecuario (b1) exhibió diferencias a los 30 min entre los sitios de segundo aclareo (a1) y el sitio de tercer aclareo (a2), el sitio corta de regeneración (a3) fue similar a los dos sitios anteriores (Cuadro 4.6); mientras que en las

CUADRO 4.5. Valor de "F" para el efecto del uso forestal (A), uso pecuario (B) e interacción de ambos factores (AB) sobre la erosión y el efecto debido a las covariables humedad del suelo (H) y pendiente (P) en la cuenca "Paso de Piedra", Durango durante los dos años de estudio.

Año	Tiempo (minutos)	Factores			Covariables	
		A	B	AB	H	P
1991	5	3.43 ns	3.20 ns	8.24 **	9.37 **	0.03 ns
	10	2.72 ns	1.91 ns	0.41 ns	1.83 ns	0.04 ns
	15	2.33 ns	0.00 ns	0.01 ns	1.20 ns	0.76 ns
	20	5.25 *	0.53 ns	2.34 ns	1.31 ns	0.21 ns
	25	1.04 ns	4.33 ns	2.87 ns	1.38 ns	0.44 ns
	30	3.04 ns	2.86 ns	2.59 ns	0.58 ns	0.07 ns

1992	5	0.35 ns	0.74 ns	0.95 ns	0.99 ns	0.06 ns
	10	0.08 ns	0.77 ns	3.24 ns	2.44 ns	0.67 ns
	15	0.58 ns	0.46 ns	6.16 **	0.52 ns	0.22 ns
	20	0.38 ns	0.35 ns	2.94 ns	2.91 ns	0.52 ns
	25	0.26 ns	1.09 ns	5.41 **	1.82 ns	0.57 ns
	30	1.66 ns	0.02 ns	5.30 *	1.27 ns	0.02 ns

CUADRO 4.6. Valores medios de la erosión (Kg/ha) de los tratamientos en la cuenca "Paso de Piedra", Durango durante los dos años de estudio y su significancia estadística en la prueba Tukey.

Año	Tiempo (minutos)	Tratamientos					
		a1b1	a1b2	a2b1	a2b2	a3b1	a3b2
1991	5	0.141b	0.689ab	0.262a	0.093a	0.582a	0.077a
	10	0.640a	2.030a	1.808a	0.617a	1.855a	0.295a
	15	1.691a	1.877a	3.873a	3.560a	5.367a	5.316a
	20	1.243b	1.203b	4.663ab	2.954ab	3.558ab	6.550a
	25	2.867a	1.893a	2.841a	5.185a	1.333a	6.132a
	30	2.276ab	2.035b	3.320ab	3.765ab	2.788ab	8.372a
1992	5	0.288a	0.452a	0.262a	0.093a	0.582a	0.077a
	10	0.640a	2.030a	1.808a	0.617a	1.855a	0.295a
	15	0.738bc	2.457a	1.862ab	0.768abc	1.785ab	0.343c
	20	0.638a	1.855a	1.818a	0.887a	1.438a	0.392a
	25	0.598bc	1.605a	1.563ab	0.677abc	1.395ab	0.400c
	30	0.497b	1.538a	1.538a	0.557b	0.628ab	0.450b

Los valores con letra igual entre columnas indican que no existe diferencia entre tratamientos con probabilidad del 0.05

áreas sin pastorear (b2), la erosión mostró diferencias a los 15 y 25 min entre el sitio de segundo aclareo (a1) y corta de regeneración (a3), mientras que el sitio de tercer aclareo fue similar a los sitios anteriores; a los 30 min hubo diferencias entre el sitio de segundo aclareo (a1) y los sitios de tercer aclareo (a2) y corta de regeneración (a3).

Variabes de Suelo

Los valores medios estimados para las características del suelo en los sitios de estudio durante 1991 y 1992 se muestran en Cuadro 4.7. En el primer año, el contenido de humedad fue muy similar en los sitios de estudio, siendo la mayor diferencia de 5.3 % entre los sitios pastoreados de segundo aclareo y el sitio corta de regeneración; mientras que la pendiente, densidad aparente, contenido de arcilla, limo y arena y la materia orgánica tuvieron gran variabilidad en los valores estimados. En el segundo año, el contenido de humedad tuvo también valores similares, con una diferencia menor de 3.1 %, entre los sitios de segundo aclareo pastoreado y tercer aclareo sin pastoreo; no obstante, la pendiente, densidad aparente, contenido de limo y arena y la materia orgánica tuvieron valores medios variables entre los sitios, pero con menor variabilidad con respecto al año anterior; mientras el contenido de arcilla tuvo proporciones similares, siendo la mayor diferencia de 3.3 % en las áreas pastoreadas de segundo aclareo y tercer aclareo. En ambos años, los valores medios de las

CUADRO 4.7. Valores medios de las características físicas y químicas del suelo estimadas en los sitios de estudio de la cuenca "Paso de Piedra", Durango durante los dos años de estudio.

Años Trata- mientos		Características de suelo								
		H	P	DA	Textura (%)				M. O.	
		(%)	(%)	(g/cm ³)	AR	LI	AN	CT	(%)	CM
1991	2AC	25.4	6.4	1.30	26.7	34.0	39.3	M	4.65	E
	2AS	24.2	13.3	1.27	29.7	35.0	35.3	MA	2.95	RR
	3AC	24.0	16.3	1.39	21.7	28.5	49.8	M	2.65	RR
	3AS	24.5	6.5	1.34	24.2	34.5	41.3	M	3.08	R
	CRC	19.9	8.5	1.43	22.7	27.5	49.8	MAA	3.60	R
	CRS	21.9	10.9	1.43	24.7	32.5	42.8	M	3.75	R
1992	2AC	22.8	5.0	1.34	23.5	31.7	44.8	M	3.82	R
	2AS	25.8	6.5	1.26	22.2	45.3	32.5	M	3.93	R
	3AC	24.1	7.5	1.27	20.2	28.3	51.5	M	2.90	RR
	3AS	25.9	4.7	1.29	21.5	40.0	38.5	M	3.30	R
	CRC	22.9	7.7	1.39	22.8	31.7	45.5	M	3.30	R
	CRS	25.2	7.8	1.29	20.5	32.0	47.5	M	4.28	E

H = humedad del suelo, P = pendiente, DA = densidad aparente, AR = arcilla, LI = limo, AN = arena, CT = clase textural, M = migajón, MA = migajón arcilloso, MAA = migajón arcillo arenoso, M.O. = materia orgánica, CM = clasificación por el contenido de materia orgánica E = extremadamente rico, R = rico, RR = medianamente rico

características de suelo presentaron mayor variabilidad durante el primer año que durante el segundo año de estudio.

Variables de la Vegetación

La cobertura media de la superficie del suelo estimada en los sitios de estudio es mostrada en el Cuadro 4.8. Durante 1991, la cobertura de zacates presentó una gran variabilidad entre sitios, con diferencias hasta de 25.6 % en el área de corta de regeneración sin pastoreo y tercer aclareo pastoreado; la cobertura herbácea, arbustivas, hojarasca y pedregosidad presentaron gran variabilidad; mientras que la cobertura de microflora, roca y suelo desnudo presentaron valores muy similares. En el segundo año, se observa que la cobertura de zacates exhibió una variabilidad hasta del 20.5 % entre los sitios sin pastorear de corta de regeneración y segundo aclareo; similarmente, la cobertura de herbáceas, arbustivas, piedras y gravas y suelo desnudo volvieron a tener valores variables en la cobertura, mientras la cobertura de hojarasca, microflora y rocas tuvieron valores poco variables entre los sitios. Comparativamente en ambos años, el segundo año la cobertura del suelo tuvo menores diferencias que el primer año, sólo el suelo desnudo mostró más altos valores y mayor variabilidad.

En el Cuadro 4.9 se presenta el peso seco de la fitomasa aérea colectada en los sitios de estudio. Durante 1991, la fitomasa de gramíneas en los sitios pastoreados de segundo aclareo y tercer aclareo

CUADRO 4.8. Valores medios de la cobertura del suelo (%) estimada en los sitios de estudio en la cuenca "Paso de Piedra", Durango durante los dos años de estudio.

Año	Tratamientos	Cobertura del suelo (%)							
		G	H	A	L	M	P	R	S
1991	2AC	51.8	12.8	6.8	28.3	0.1	0.3	0.0	0.1
	2AS	44.1	20.3	4.4	27.4	0.3	2.3	0.5	0.9
	3AC	28.8	15.5	6.8	39.5	1.9	5.1	0.0	2.5
	3AS	51.3	15.8	0.5	27.9	2.0	2.4	0.0	0.3
	CRC	37.3	44.9	0.3	13.6	1.4	0.4	0.0	2.3
	CRS	54.4	28.0	0.6	13.1	2.4	0.6	0.0	0.9
1992	2AC	44.8	13.6	6.0	34.5	0.4	0.3	0.0	0.7
	2AS	31.2	22.6	3.9	39.1	2.0	1.2	0.2	3.3
	3AC	35.5	13.8	3.2	39.3	1.8	2.5	0.3	3.8
	3AS	49.5	12.0	1.8	33.5	0.7	0.8	1.5	0.2
	CRC	34.2	24.7	0.5	33.6	2.0	1.4	0.0	3.7
	CRS	51.7	16.8	1.3	27.7	1.5	0.7	0.0	0.4

G = gramíneas, H = herbáceas, A = arbústivas, L = hojarasca, M = microflora, P = piedras y grava, R = roca madre, S = suelo desnudo

CUADRO 4.9. Valores medios de la fitomasa aérea (g) colectada en los sitios de estudio en la cuenca "Paso de Piedra", Durango durante los dos años de estudio.

Año	trata- mientos	Peso seco fitomasa (g)				
		G	H	A	L	T
1991	2AC	89.0	3.3	10.2	755.1	857.6
	2AS	47.3	9.8	3.5	184.3	244.9
	3AC	29.4	15.5	21.8	446.2	512.9
	3AS	65.3	10.6	3.3	316.2	395.4
	CRC	46.3	38.4	0.4	335.2	420.3
	CRS	39.1	14.6	1.1	145.4	200.2

1992	2AC	74.6	10.4	5.8	339.4	430.2
	2AS	36.5	22.3	10.4	331.9	401.1
	3AC	27.6	14.2	4.4	218.1	264.3
	3AS	80.5	9.2	9.6	460.1	559.4
	CRC	23.3	10.0	3.0	317.1	353.4
	CRS	115.6	19.8	7.9	241.8	385.1

Fitomasa: G = gramíneas, H = herbáceas, A = arbustivas, L = hojarasca, T = total de material vegetal

tuvieron una diferencia de 59.6 g; de igual manera, se presentó gran variabilidad para la fitomasa de herbáceas, arbustivas, hojarasca y total. En 1992, la fitomasa de zacates tuvo mayor variabilidad en las áreas de corta de regeneración entre los sitios con y sin pastoreo; semejante variación en la fitomasa de zacates, la fitomasa de hojarasca y total se exhibió en los sitios; mientras, la cobertura de herbáceas y arbustivas tuvieron menor variación. De ambos años de estudio, la fitomasa de zacates fue menos variable en el primer año, pero la fitomasa de herbáceas, arbustivas, hojarasca y total fue menos variable en el segundo año.

Los variables silvícolas determinadas en los sitios de estudio para los dos años se presentan en el Cuadro 4.10. En el primer año, la densidad y el área basal de pinos fue mayor en el sitio de tercer aclareo sin pastorear y menor en el sitio de corta de regeneración sin pastoreo, con una diferencia de 317 ind/ha y 5.1 m²/ha, respectivamente, el diámetro medio de los árboles tuvo una diferencia de 0.14 m entre el sitio de tercer aclareo sin pastorear y el sitio de corta de regeneración pastoreado; mientras la densidad de renuevos y arbustos tuvo gran variabilidad en los sitios de tercer aclareo con pastoreo y corta de regeneración sin pastorear. En el segundo año, la mayor variación en las variables silvícolas densidad, diámetro medio, área basal y densidad de renuevos de los árboles se presentaron entre los sitios sin uso pecuario de tercer aclareo y corta de regeneración con diferencias de 462 ind/ha, 0.24 m, 4.9 m²/ha y 328 ind/ha, respectivamente; mientras que la mayor variación en las características de arbustos se presentó entre el sitio de segundo aclareo sin pastorear

CUADRO 4.10. Valores medios de las variables silvícolas determinadas en los sitios de estudio en la cuenca "Paso de Piedra", Durango durante los dos años de estudio.

Año	Tratamientos	D P (IND/HA)	D M (M)	A B (M2)	D R (IND/HA)	Arbustos (ind/ha)				
						Q	J	M	A	\bar{X}
1991	2AC	150	0.24	8.1	238	130	0	0	0	33
	2AS	110	0.21	5.9	345	210	0	10	0	55
	3AC	88	0.25	4.5	370	200	20	230	170	155
	3AS	345	0.20	8.2	118	80	0	20	0	25
	CRC	43	0.34	4.4	30	50	0	0	0	13
	CRS	28	0.28	3.1	20	0	10	0	0	3
1992	2AC	173	0.22	7.9	283	183	5	0	0	31
	2AS	103	0.22	5.3	67	180	12	33	118	57
	3AC	197	0.19	6.9	315	88	20	38	32	30
	3AS	502	0.16	10.0	358	60	2	3	0	11
	CRC	53	0.35	5.4	62	58	0	0	7	11
	CRS	40	0.40	5.1	30	90	5	0	0	16

D P = densidad de pinos (*Pinus spp.*), D M = diámetro promedio de pinos, A B = área basal de pinos, D R = densidad renuevos de pinos, Q = encinos (*Quercus spp.*), J = tascate (*Juniperus sp.*), M = madroños (*Arbutus sp.*), A = acacia (*Acacia sp.*)

y los sitios de tercer aclareo sin pastoreo y corta de regeneración con pastoreo. Durante 1991 y 1992, en el primer año las variables silvícolas estimadas a los pinos tuvieron menores valores que los determinados en el segundo año, sin embargo, en las arbustivas fueron mayores en el primer año.

Registro de la Precipitación

La precipitación registrada durante las fechas de muestreo en 1991 y 1992 es presentada en el Cuadro 4.11. Durante el primer año, la precipitación que se presentó en los sitios de estudio fue muy variable, difiriendo hasta más de 11 mm en las fechas de muestreo entre el sitio de corta de regeneración con pastoreo y los sitios de tercer aclareo con y sin pastorear y corta de regeneración sin pastoreo. En el segundo año, se presentó la mayor diferencia en precipitación en los sitios de tercer aclareo con pastoreo y segundo aclareo sin pastorear; no obstante, la precipitación registrada en el primer año fue menor durante las fechas de muestreo que durante el segundo año, pero el inicio de las lluvias de verano se presentó antes durante el primer año del estudio (ver Figura 3.3).

Variables que Afectan la Infiltrabilidad

Las variables de suelo, vegetación y precipitación que influyeron la infiltrabilidad en los dos años de estudio se muestran en

CUADRO 4.11. Precipitación registrada en los días en que se realizaron las pruebas de campo en los sitios de estudio en la cuenca "Paso de Piedra", Durango durante los dos años de estudio.

Año	Fecha de muestreo	Sitios de estudio					
		2AC	2AS	3AC	3AS	CRC	CRS
1991	24/Julio	9.2 (2)					
	25/Julio	1.4 (2)					
	26/Julio					11.3 (2)	
	31/Julio						0.1 (4)
	2/Agosto				0.1 (4)		
	3/Agosto			0.1 (4)			
	6/Agosto		9.5 (4)				
	9/Agosto					8.2 (2)	
	\bar{X}	5.3	9.5	0.1	0.1	9.3	0.1
1992	29/Julio					6.5 (2)	
	30/Julio			41.3 (4)			
	31/Julio						7.4 (6)
	1/Agosto			0.1 (2)			
	4/Agosto				8.4 (4)		
	5/Agosto	2.5 (1)			2.5 (2)	2.5 (2)	
	6/Agosto	3.2 (3)					
	7/Agosto	31.5 (2)				31.5 (2)	
	12/Agosto		0.1 (6)				
\bar{X}	12.5	0.1	27.5	6.4	13.5	7.4	

Nota: el número entre paréntesis indica el número de parcelas de muestreo por tratamiento realizadas en la fecha señalada para cada sitio de estudio.

el Cuadro 4.12. En 1991, la variable que influyó mayormente la infiltrabilidad fue la densidad aparente en todos los períodos de tiempo, mientras que la precipitación influyó a partir de los 20 min hasta los 30 min, similar comportamiento presentó la cobertura de zacates; de manera específica influyó el suelo desnudo, la fitomasa total y el diámetro de pinos. En 1992, la precipitación y cobertura de zacates exhibieron la mayor influencia sobre la infiltrabilidad, mientras que con una menor influencia se relacionaron la cobertura de hojarasca, pedregosidad y la densidad de acacias; otras variables que se presentaron fueron la densidad aparente, el contenido de arcilla, la fitomasa herbácea y total, el suelo desnudo y la densidad de arbustos.

Variables que Afectan la Concentración de Sedimentos

En el Cuadro 4.13 se presentan las variables de suelo, vegetación y precipitación que se relacionaron con la concentración de sedimentos. En el primer año, la concentración de sedimentos fue influenciada principalmente por la hojarasca, de manera específica por la cobertura herbácea y la fitomasa de zacates; otras variables que se presentaron fueron el contenido de arcilla, la cobertura de hojarasca, la densidad de pinos y arbustos y la precipitación. En el segundo año, un mayor número de variables que se relacionaron a la concentración de sedimentos, siendo las de mayor influencia el contenido de arcilla y la cobertura y fitomasa de hojarasca, así como también se relacionaron de manera específica la cobertura de zacates, la microflora, la pedregosidad, la densidad de arbustos y la precipitación, y con una

CUADRO 4.12. Valores del coeficiente de determinación de las variables que influyen la infiltrabilidad del suelo en la cuenca "Paso de Piedra", Durango durante los dos años de estudio.

Año	Variables	Tiempo (minutos)					
		5	10	15	20	25	30
1991	Densidad aparente ⁻	0.34**	0.21**	0.21**	0.20**	0.19**	0.19**
	Cobertura gramíneas ⁻				0.11*	0.11*	0.09*
	Suelo desnudo ⁻	0.12*					
	Fitomasa total ⁺		0.15*	0.12*			
	Diámetro de pinos ⁺	0.22**					
	Precipitación ⁺				0.22**	0.11**	0.23**

1992	Densidad aparente ⁻		0.04**				
	Contenido arcillas ⁻		0.07**				
	Cobertura gramíneas ⁻		0.13**	0.12**	0.12**	0.14**	0.34**
	Cobertura hojarasca ⁺			0.02*	0.04*	0.03*	
	Pedregosidad ⁻		0.15**	0.03*	0.05**	0.03*	
	Suelo desnudo ⁻	0.11*					0.08**
	Fitomasa herbácea ⁻					0.03*	0.05**
	Fitomasa total ⁻						0.05**
	Densidad acacias ⁻		0.10**	0.12**	0.19**	0.11**	0.08**
	Densidad arbustos ⁺						0.04**
Precipitación ⁺		0.12**	0.35**	0.38**	0.37**	0.26**	

Nota: el signo significa el tipo de relación de la variable impacto con la variable respuesta.

CUADRO 4.13. Valores del coeficiente de determinación de las variables que influyen la concentración de sedimentos en la cuenca "Paso de Piedra", Durango durante los dos años de estudio.

Año	Variables	Tiempo (minutos)					
		5	10	15	20	25	30
1991	Contenido arcilla ⁻			0.13**			
	Cobertura herbácea ⁺		0.40**				
	Cobertura hojarasca ⁻			0.07**	0.09*		
	Fitomasa gramíneas ⁺		0.38**				
	Fitomasa hojarasca ⁺			0.56**	0.47**	0.39**	0.38**
	Densidad pinos ⁺	0.23**					
	Densidad arbustos		0.07*				
Precipitación ⁺			0.09*				

1992	Contenido arcilla ⁻		0.20**		⁺ 0.11**		0.09**
	Contenido limo ⁻						0.05**
	Contenido arena ⁻						0.04**
	Cobertura gramíneas ⁻						0.19**
	Cobertura hojarasca ⁻		0.09**		0.08*		⁺ 0.10**
	Microflora ⁺						0.21**
	Pedregosidad ⁺	0.14*					
	Fitomasa hojarasca ⁻		0.18**				0.06**
	Area basal ⁻			0.09*			
	Densidad renuevos ⁺						0.03*
	Densidad encinos ⁻						0.26**
	Densidad madroños ⁺					0.44**	0.03*
	Densidad acacias ⁻					0.17**	
Precipitación ⁺				0.27**			

Nota: el signo significa el tipo de relación de la variable independiente con la variable respuesta.

menor influencia el contenido de limo y arena y el área basal y densidad de renuevos de pino.

Variables que Afectan la Erosión

Las variables de suelo y vegetación que se relacionaron a la erosión laminar son presentadas en el Cuadro 4.14. Se observa que en 1991, la densidad aparente fue la variable que mostró mayor influencia sobre la erosión, mientras que de manera específica fue influenciada por el suelo desnudo, la fitomasa total y la densidad de renuevos, además se relacionó la fitomasa de zacates. Para el segundo año, se observa que el suelo descubierto mostró la mayor influencia sobre la erosión, mientras que al final de los períodos de estimación influyeron también la cobertura de zacates, la pedregosidad y la densidad de acacias y la densidad aparente, y con menor relación la materia orgánica y la cobertura herbácea y hojarasca.

CUADRO 4.14. Valores del coeficiente de determinación de las variables que influyen la erosión laminar en la cuenca "Paso de Piedra", Durango durante los dos años de estudio.

Año	Variables	Tiempo (minutos)					
		5	10	15	20	25	30
1991	Densidad aparente ⁺	0.22**	0.22**		0.22**		
	Suelo desnudo ⁻			0.29**			
	Fitomasa gramíneas ⁻						0.10*
	Fitomasa total ⁻		0.12*		0.14*		
	Densidad renuevos ⁺			0.38**			

1992	Densidad aparente ⁺					0.06**	0.06**
	Materia orgánica ⁻					0.03*	
	Cobertura gramíneas ⁺					0.17**	0.05**
	Cobertura herbácea ⁻						0.05**
	Cobertura hojarasca ⁺					0.06**	
	Pedregosidad ⁺					0.09**	0.41**
	Suelo desnudo ⁺	0.15*	0.35**	0.43**	0.26**	0.12**	
	Densidad acacias ⁺					0.07**	0.16**

Nota: el signo significa el tipo de relación de la variable impacto con la variable respuesta.

DISCUSION

Infiltrabilidad

Durante 1991, la mayor infiltrabilidad presentada por los sitios de segundo aclareo con y sin uso de pastoreo, y en general los sitios con uso del pastizal es explicada por la densidad aparente y la cobertura del suelo, lo cual de acuerdo a Wood *et al.* (1987a) y Wood *et al.* (1987b) son factores determinantes en la infiltrabilidad; además, en los sitios con uso del pastizal, aunque la cobertura fue muy variable, tuvo mayor fitomasa aérea, por lo que el suelo estuvo protegido, de tal forma que, de acuerdo a lo mencionado por Dunford (1954), Pereira (1973), Spurr y Barnes (1984), Pritchett (1986) y Brooks *et al.* (1991) el agua se almacena, se retiene entre sus interespacios, y puede estar disponible por un período más largo, para infiltrarse aún después de cesar los eventos de lluvia, debido a lo cual la infiltrabilidad se beneficia.

En 1992, la infiltrabilidad del suelo en el sitio de corta de regeneración sin pastoreo, y en los sitios con aclareo y uso del pastizal, las variables que la influyeron presentaron mejores características en comparación a las estimadas en los sitios con uso forestal y no pastoreados, dichas características promueven la entrada de agua al suelo, por ejemplo la densidad aparente (Wood *et al.*, 1987b;

Dunne *et al.*, 1991), el contenido de arena (Wilcox *et al.*, 1988), la cobertura vegetal y la pedregosidad (Evans, 1984); mientras que la baja infiltrabilidad en el sitio de segundo aclareo sin pastorear, es explicada por la densidad de los arbustos y en el sitio de tercer aclareo con pastoreo la infiltrabilidad es determinada por la baja densidad aparente y alto contenido de arena y cobertura de hojarasca. De igual manera, los sitios no mostraron una relación directa entre la infiltrabilidad y las etapas de los rodales, debido a que se presentó gran variación en los factores de suelo y vegetación, además de que no fueron consistentes dichos valores, pero esta influencia no se presentó en los sitios con uso del pastizal, ya que generalmente estos sitios presentaron mejores condiciones de suelo y vegetación lo cual promueve una mayor infiltrabilidad en comparación a las áreas sin uso del pastizal.

En 1991 y 1992, las variables que mostraron mayor influencia sobre la infiltrabilidad fueron la densidad aparente y la cubierta vegetal, esto concuerda con lo dicho por Pereira (1973) y Wood *et al.* (1987) quienes indican que cuando la cubierta vegetal y el suelo no son disturbados en el aprovechamiento forestal se mantienen buenas condiciones de infiltrabilidad. Además, Johnson y Beschta (1980) encontraron que con la mayor intensidad del aprovechamiento del arbolado la infiltrabilidad se reduce, pero al restablecerse la cubierta vegetal las condiciones hidrológicas se recuperan; por otro lado, los resultados concuerdan con el señalamiento de que el uso del pastoreo en áreas boscosas (Dunford, 1954; Wood *et al.*, 1987a) reduce la infiltrabilidad debido a la remoción de la vegetación por el ganado,

aunque en este sentido Blackburn *et al.* (1981) señalan que la intensidad del pastoreo no esta bien definida en las investigaciones en las áreas boscosas.

La variabilidad exhibida en los valores estimados de los factores de suelo y vegetación, mostró que en 1991 y 1992 se relacionan un menor y un mayor número de variables, respectivamente, por lo que esta influencia de las variables reflejó que la tendencia de las curvas de infiltrabilidad se presentaran constantes en el primer año a partir de los 10 min y en el segundo año a partir de los 20 min, lo cual refleja variación en la infiltrabilidad, todo ello puede ser explicado por lo señalado por Gifford *et al.* (1973) y Brooks *et al.* (1991) quienes mencionan que la consistencia de los valores y la interacción de los factores y el proceso hidrológico es muy variable debido a las condiciones que se presentan de un año a otro y de un área a otra.

Con respecto a la variabilidad de los valores y la alteración de las características físicas del suelo, Campbell *et al.* (1973) y Rachal y Karr (1988) indican que la extracción de los trozos y el tráfico de vehículos son las principales actividades que las afectan, inhibiendo la infiltrabilidad del suelo, sobre todo en las áreas con mayor actividad. Donnelly *et al.* (1991) señalan que la inconsistencia de los valores en características del suelo es debido al uso de equipo forestal en el aprovechamiento de los árboles.

Siendo la infiltrabilidad afectada por humedad del suelo Branson *et al.* 1981; Gutiérrez *et al.*, 1990) la cual es abastecida por

los eventos de lluvia en las áreas naturales (Pereira, 1973; Gutiérrez *et al.*, 1979; Hawkins, 1986), la relación de la infiltrabilidad y la precipitación en ambos años muestra que los suelos de la cuenca no son saturados por la abundante lluvia; en este sentido, de acuerdo a lo señalado por Pritchett (1986) y Dunne *et al.* (1991) una buena infiltrabilidad es condición inherente de las regiones boscosas, por lo anterior, se observó que la humedad del suelo no influyó en la infiltrabilidad en los dos años de estudio.

Concentración de Sedimentos

En el primer año, la concentración de sedimentos tuvo los valores más bajos y variables en los sitios de estudio a los 10 min, esto es debido a una buena cobertura herbácea y fitomasa de zacates; después de este tiempo, la mayor concentración de partículas presentada en todos los sitios y la más alta en el sitio de segundo aclareo con pastoreo fue influenciada por la cobertura y fitomasa de hojarasca, lo que concuerda con lo dicho por Kittredge (1948) y Pereira (1973) quienes señalan que el impacto del pastoreo en las áreas boscosas es mayor en los suelos cubiertos por hojarasca al disturbar y dejar expuesto el suelo que cuando remueve la vegetación del pastizal. En el segundo año, la mayor concentración de partículas presentada en los sitios de tercer aclareo con pastoreo y corta de regeneración sin pastoreo, en períodos de tiempo alternantes, y la mayor cantidad durante los primeros 20 min, se explica principalmente por la proporción de arcilla y cobertura y fitomasa de hojarasca; aunque en

este caso, influyeron un mayor número de variables de suelo y vegetación, estas fueron en períodos de tiempo específicos; lo cual concuerda con lo mencionado por Kittredge (1948) y Pereira (1973), además, Evans (1984) señala que al humedecerse el suelo, este se consolida e inhibe el desprendimiento y suspensión de las partículas del suelo.

En ambos años, cuando se presentó la menor concentración de sedimentos se tuvo un alto coeficiente de determinación con variables específicas de vegetación y suelo; en el primer año las variables relacionadas fueron menos que en el segundo año, pero se presentaron en más períodos de tiempo; lo anterior, es atribuido a la variabilidad en los valores de los factores estimados en cada sitio de estudio (Gifford *et al.*, 1973; Wood *et al.*, 1987a; Brooks *et al.*, 1991).

Por otro lado, es de considerar que a partir del período de 10 min en 1991 y de los 20 min en 1992, los escurrimientos superficiales exhiben una tendencia constante hasta el final de las estimaciones; además, los sitios con mayor concentración de sedimentos en ambos años de estudio, presentaron menores escurrimientos, por lo que este proceso afecta la expresión de la concentración de sedimentos. De acuerdo a lo mencionado por Mah *et al.* (1992) y Kinnell (1976) el desprendimiento y suspensión de los sedimentos es atribuido al salpicamiento y transporte de partículas que se producen con la aplicación de lluvia y el impacto de las gotas de lluvia sobre la superficie del suelo; por lo anterior, las variables que afectan la infiltrabilidad, como es la hojarasca, producen también efecto sobre la concentración de sedimentos, por lo

que cuando se presentó mayor entrada de agua al suelo se tiene una mayor concentración de sólidos en un menor volumen de escurrimiento; todo ello hace que no se presenten diferencias estadísticas en cuanto a este parámetro.

Erosión

En ambos años de estudio, la mayor erosión laminar se presentó en los sitios sin uso del pastizal, aún cuando en 1992 el análisis estadístico a los 25 y 30 min mostró significancia al uso del pastizal, se observó que la erosión disminuyó en estos períodos de tiempo, por lo cual el uso pecuario en las áreas de aprovechamiento forestal y en sí el uso múltiple de recursos en estas áreas boscosas se considera que no tiene un impacto sobre la erosión.

Durante el primer año, la mayor erosión presentada en el sitio de corta de regeneración sin pastoreo es causada por la alta densidad aparente; a partir de los 15 min, aunque algunas variables se relacionaron a la erosión en períodos de tiempo específicos, ello es atribuido a la gran variabilidad de los valores en los factores de suelo y vegetación. Por otro lado, es de considerar que a partir de este tiempo se presenta una mayor erosión, debido al impacto de las gotas de lluvia puesto que los escurrimientos superficiales tuvieron una tendencia constante a partir de los 15 min y hasta el final de las estimaciones, por lo que la erosión se encuentra relacionada en cierto grado al exceso de agua acumulada que produce escurrimiento y

transporta las partículas de suelo (Evans, 1984; Mah *et al.*, 1992). Durante el segundo año, la erosión es explicada por el suelo descubierto, ya que las cantidades más altas de erosión se presentaron en los sitios de segundo aclareo sin pastoreo y los sitios pastoreados de tercer aclareo y corta de regeneración, quienes exhibieron los mayores valores, lo que concuerda con lo indicado por Gutiérrez *et al.* (1990) y Brooks *et al.* (1991) al señalar que un suelo sin vegetación al estar expuesto a la lluvia y los escurrimientos superficiales presentan una mayor erosión.

Además, en ambos años de estudio la erosión laminar presentó relación con factores específicos de suelo lo cual difiere a lo mencionado por Brooks *et al.* (1991) y Holechek *et al.* (1989) quienes señalan que factores de suelo no influyen la erosión, ellos indican que la erosión en regiones boscosas esta determinada por las características de la cubierta vegetal y el escurrimiento.

Asimismo, la mayor erosión en las áreas de uso silvícola sin uso pecuario concuerda con lo reportado por Johnson y Beschta (1980), Wood *et al.* (1987a) y Blackburn *et al.* (1987, 1990) quienes mencionan que en áreas con aprovechamiento forestal existe una mayor pérdida de suelo, debido al uso intensivo de equipo forestal, el cual remueve la superficie del suelo. De igual manera, concuerda con lo señalado por Dunford (1954) quien menciona que al integrar el uso del pastoreo en áreas cubiertas por bosque, la erosión no es significativa cuando se lleva un adecuado manejo del uso del pastizal, en el que el ganado no

afecte la superficie del suelo y se mantenga en buenas condiciones la cubierta vegetal.

CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados generados en el presente estudio para la cuenca boscosa "Paso de Piedra", Durango se puede llegar a las siguientes conclusiones:

- La infiltrabilidad no se reduce significativamente cuando se incluye el uso pecuario y silvícola en la explotación de los recursos naturales.
- La infiltrabilidad es afectada principalmente por la densidad aparente y la cubierta vegetal del suelo cuando se tiene uso múltiple.
- La concentración de sedimentos en el área de estudio no se afecta significativamente cuando se tiene uso pecuario y silvícola como medio de aprovechamiento de los recursos naturales.
- La concentración de sedimentos es influenciada en forma primordial por la hojarasca presente en la superficie del suelo.

- La erosión no se incrementa significativamente cuando se combinan uso pecuario y silvícola en la explotación de los recursos naturales.

- La erosión es influenciada mayormente por la densidad aparente y la cubierta vegetal del suelo.

- La humedad del suelo y la pendiente no son factores determinantes en la infiltrabilidad y la erosión de los suelos en el área de estudio.

- La infiltrabilidad y la concentración de sedimentos es influenciada positivamente por la precipitación de manera significativa.

RESUMEN

El impacto del uso del suelo en una cuenca hidrológica puede ser evaluado con el estudio de los procesos hidrológicos y propiedades edáficas, ya que ellos reflejan los cambios hechos en la superficie del suelo y la vegetación. El objetivo del estudio fue evaluar el impacto del uso múltiple sobre la infiltrabilidad y la erosión y determinar los factores asociados a dichos procesos.

El trabajo se realizó en la cuenca hidrológica "Paso de Piedra" localizada al sur del Estado de Durango, siendo la vegetación dominante un bosque mixto de pino-encino, dicha área se ha dedicado a la explotación de becerros al destete desde 1946, bajo un sistema rotacional diferido, y a partir de 1987 se han aplicado tratamientos de regulación silvícola con los principios del Método de Desarrollo Silvícola. En el estudio se usaron las prácticas silvícolas corta de segundo aclareo, corta de tercer aclareo y corta de regeneración, en los cuales se escogieron áreas con uso pecuario y sin uso pecuario, definiendo así seis tratamientos.

Para cada tratamiento se realizaron pruebas de simulación de lluvias durante los años de 1991 y 1992, con un simulador de lluvia portátil con el cual se aplicó una intensidad de 10.47 cm/hr en parcelas circulares de un metro de diámetro durante 30 min. La

infiltrabilidad (cm/hr) se determinó como la diferencia de la lluvia aplicada y el escurrimiento recolectado cada 5 min; la concentración de sedimentos (g/l) se obtuvo del filtrado y secado de muestras de 500 ml, tomadas del escurrimiento recolectado; la erosión (Kg/ha) se determinó por el producto de la concentración de sedimentos, el escurrimiento colectado y el área de la parcela. Los datos fueron analizados en un diseño completamente al azar con arreglo factorial por el uso silvícola y el uso pecuario, además de corrección por covarianza de la humedad del suelo y la pendiente; factores específicos de suelo, vegetación y precipitación se correlacionaron con la infiltrabilidad, la concentración de sedimentos y la erosión en cada período de tiempo.

En el primer año de estudio, las áreas silvícolas de segundo aclareo exhibieron la mayor infiltrabilidad, los sitios con uso pecuario tuvieron mayor infiltrabilidad que los sitios sin uso pecuario. Durante 1992, la mayor infiltrabilidad se presentó en el sitio de corta de regeneración sin pastorear; los sitios pastoreados tuvieron mayor infiltrabilidad que los sitios sin pastorear.

La concentración de sedimentos no fue influenciada por el uso forestal ni por el uso pecuario en ambos años de estudio; pero la interacción de ambos factores tuvo influencia a los 30 min de lluvia simulada en 1992.

La erosión en los dos años de evaluación se presentó mayor en 1991 que durante 1992. En el primer año, la erosión fue mayor en los sitios de tercer aclareo con uso pecuario y corta de regeneración sin

uso pecuario; durante 1992, la mayor erosión se presentó en los sitios de segundo aclareo sin pastoreo, tercer aclareo con pastoreo y corta de regeneración con pastoreo.

En el primer año, la infiltrabilidad se relacionó principalmente con la densidad aparente, la cobertura de zacates, la fitomasa aérea total y la precipitación ocurrida el día anterior a las pruebas de simulación. En el segundo año, los factores asociados con la infiltrabilidad fueron la cobertura de zacates, hojarasca y pedregosidad, la densidad de acacias y la precipitación.

Durante 1991 la hojarasca fue el factor que mayor influencia tuvo en la concentración de sedimentos, mientras que en el segundo año junto con la hojarasca, el contenido de arcilla tuvo gran impacto.

Los factores de suelo y vegetación relacionados con la erosión no fueron consistentes en los dos años; sólo se encontró fuerte relación con la densidad aparente en el primer año; en 1992, se relacionó a la cobertura de zacates, densidad aparente, pedregosidad y suelo desnudo.

LITERATURA CITADA

- Alexander, R. R. 1986. Silvicultural systems and cutting methods for ponderosa pine in the Front Range of the Central Rocky Mountains. Rocky Mountains Forest and Range Experimental Station. USDA Forest Service. General Technical Report RM-128. Fort Collins, Co. 20 p.
- Ball, M. J., D. H. Hunter, and B. F. Swiendel. 1981. Understory biomass response to microsite and age of bedded slash pine plantations. *J. Range Manage.* 34: 38-42.
- Barbour, M. G., J. H. Burk, and W. Pitts. 1987. Terrestrial plant ecology. 2a ed. The Benjamin/Cummings Publishing Company. Menlo Park, Cal. USA. 634 p.
- Behan, R. W. 1990. Multiresource forest management: A paradigmatic challenge to professional forestry. *J. of Forestry.* 88: 12-18.
- Blackburn, W. H., J. C. Wood, H. A. Pearson, and R. Knight. 1987. Storm flow and sediment loss from intensively management forest watershed en East Texas. pp 233-243. *In:* H. A. Pearson, F. E. Smeins, and R. E. Thill (comp). Ecological, Physical, and socioeconomic relationships within Southern National Forest. Southern Forest Experiment Station. USDA Forest Service. New Orleans, Lo., USA.
- Blackburn, W. H., R. W. Knight, and M. K. Wood. 1981. Impact of grazing on watershed, a state of knowledge. pp 1-32. *In:* National Academy of Sciences/National Research Council. Impacts of grazing intensity and specialized grazing systems on use and value of rangelands. March 16-17. El Paso, Tx., USA.
- Blackburn, W. H., R. W. Knight, J. C. Wood, and H. A. Pearson. 1990. Stormflow and sediment loss from intensively managed forest watershed in East Texas. *Water Res. Bull.* 26: 465-477.
- Bojorquez, L. A., P. F. Ffolliot, and P. Guertin. 1990. Herbage production forest overstory relationship in two Arizona ponderosa pine forest. *J. Range Manage.* 34: 25-28.

Branson, F. A., G. F. Gifford, K. G. Renard, and R. F. Hadley. 1981. Rangeland hydrology. 2a ed. A publications of the Society for Range Management. Kendall/Hunt Publishing Company. Dubeque. USA. 340 p.

Brooks, K. N., P. F. Ffolliott, H. M. Gregersen, and J. L. Thames. 1991. Hydrology and management of watershed. Iowa State University Press. Ames, Iowa. USA. 392 p.

Campbell, R. G., J. R. Willis, and J. May. 1973. Soil disturbance by logging with rubber-tired skidders. *J. Soil and Water Conser.* 28: 218-220.

➤ Comisión de Estudios del Territorio Nacional (CETENAL). 1972. Presa Presidente Guadalupe Victoria. Carta Topográfica 1: 50000.† F13-B11. Secretaría de la Presidencia. México D. F., México.

➤ Comisión de Estudios del Territorio Nacional (CETENAL). 1973.★ Aserradero La Flor. Carta Topográfica 1: 50000. F13-B21. Secretaría de la Presidencia. México D. F., México.

➤ Comisión de Estudios del Territorio Nacional (CETENAL). 1976a. Presa★ Presidente Guadalupe Victoria. Carta Uso del Suelo. 1: 50000. F13-B11. Secretaría de la Presidencia. México D. F., México.

➤ Comisión de Estudios del Territorio Nacional (CETENAL). 1976b.★ Aserradero La Flor. Carta Uso del Suelo. 1: 50000. F13-B21. Secretaría de la Presidencia. México D. F., México.

Cooper, Ch. F. 1969. Ecosystem models in watershed management: *In*: Van Dyne, G. M. (ed.). *The ecosystem concept in natural resource management*. Academic Press, Inc. New York. USA. pp 309-324.

Dickerson, B. P. 1976. Soil compactation after tree-length skidding in northern Mississippi. *Soil Sc. Soc. Am.* 40: 965-966.

Donnelly, J. R., J. B. Shane, and H. W. Yawney. 1991. Harvesting cauces only minor changes in physical properties of an upland Vermont soil. *J. of Forestry.* 8: 33-36.

⌘ Dunford, E. G. 1954. Surface runoff and erosion from pine grasslands of Colorado Front Range. *J. of Forestry.* 52: 923-927.

Dunne, T., W. Zhang and B. F. Aubry. 1991. Effects of rainfall, vegetation and microtopography on infiltration and runoff. *Water Res. Res.* 27: 2271-2285.

Evans, R. 1984. Mecanismos de la erosión hídrica y sus controles espaciales y temporales: un punto de vista empírico. pp 141-163. En: M. J. Kirkby y R. P. C. Morgan (comps). *Erosión de suelos*. Editorial Limusa. México.

Everett, R. L. and S. H. Sharrow. 1985. Response of grass species to tree harvesting in singleleaf pinyon-Utah juniper stands. Intermountain Forest and Range Experiment Station. USDA Forest Service. Research paper INT-334. Ogden, Ut. 6 p.

— García, E. 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de Geografía. UNAM. México, D. F. México. 246 p.

Gifford, G. F., G. Williams, and G. B. Coltharp. 1970. Infiltration and erosion studies on pinyon-juniper conversion sites in southern Utah. *J. Range Manage.* 23: 402-406.

Gutiérrez C., J. y F. M. Rivera N. 1992. Infiltrabilidad y microrelieve en un suelo con pastizal mediano abierto en el sur de Coahuila, México. *Revista Manejo de Pastizales. SOMMAP.* 5: 96-104.

*Gutiérrez C. J, F. M. Smith y J. G. Medina T. 1979. Caracterización hidrológica de la Cuenca San Tiburcio, Zacatecas. Monografía Técnico-Científica. UAAAN. 5: 212-327.

*Gutiérrez C., J. y J. Dueñez A. 1988. Relación tasas de infiltración-edad de la plantación en la zona reforestada Zapalinamé. *Revista Agraria.* 4: 169-180.

Gutiérrez C., J. y M. A. Salazar C. 1986. Impacto de la reforestación en la Sierra Zapalinamé sobre las tasas de infiltración. *Revista Agraria.* 2: 286-302.

Gutiérrez C., J., S. Beltrán L. y A. Zárata L. 1990. Efecto de los tipos de vegetación y suelo sobre la infiltrabilidad y producción de sedimentos en el sureste de Coahuila. *Revista Agraria. UAAAN.* 6: 51-65.

Hawkins, R. H. 1986. Applied hydrology in the pinyon-juniper type.

Pinyon-Juniper Conference. Reno, Nv. USA. January 13-16. pp 493-504.

- *Heady, H. F. 1981. Multiple uses of rangelands. pp 225-237. In: F. Morley, H. W. (ed). *Grazing animal*. World Animal Science, B1. Elsevier Scientific Publishing Company. Amsterdam, Netherlands.
- Hibbert, A. R. 1979. Managing vegetation to increase flow in Colorado River Basin. USDA Forest Service. Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station. Gen. Tech. Rep. RM-66. Fort Collins, Co. 27 p.
- Holechek, J. L. 1981. Livestock grazing impact on public lands: A viewpoint. *J Range Manage.* 34: 251-254.
- Holechek, J. L., R. D. Pieper, and C. H. Herbel. 1989. Range management, principles and practices. Printice Hall. Englewood Cliffs, N. J. USA. 501 p.
- Hornbeck, J. W. and W. T. Swank. 1992. Watershed ecosystem analysis as a basis for multiple-use management of eastern forest. *Ecological Applications.* 2: 238-247.
- Horton, R. E. 1933. The role of infiltration in the hydrology cycle. *Amer. Geoph. Unich Trans.* 14: 446-460.
- Huss, D. L. y E. L. Aguirre. 1974. Fundamentos de manejo de pastizales. Departamento de Zootecnia. División de Ciencias Agropecuarias y Marítimas. ITESM. Monterrey, México. 227 p.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 1989. El Salto. Carta Hidrológica de Aguas Superficiales. 1: 250000. F13-2. Secretaría de Programación y Presupuesto. México D. F., México.
- *Johnson, M. G. and R. L. Beschta. 1980. Logging, infiltration capacity, and surface erodibility in western Oregon. *J. of of Forestry.* 78: 334-337.
- Johnston, R. S. 1984. Effect of small aspen clearcuts on water yield and water quality. Intermountain Forest and Range Experiment Station. USDA Forest Service. Research Paper INT-333. Ogden, Ut. 9 p.

- Kessler, W. B., H. Salwasser, C. W. Cartwright, and J. A. Caplan. 1992. New perspectives for sustainable natural resources management. *Ecological Applications*. 2: 221-225.
- Kinnell, P. I. A. 1976. Splash erosion of primary particles and aggregates. *Soil Sc. Soc. Amer. J.* 40: 966-968.
- Kirkby, J. J. 1984. El problema. pp 15-33. En: M. J. Kirkby y R. P. C. Morgan (comps). *Erosión de suelos*. Editorial Limusa. México.
- Kittredge, J. 1948. *Forest influence*. Dover Publications, Inc. New York. N. Y., USA. 394 p.
- Kosco, B. H. and J. W. Bartolome. 1981. Forest grazing: Past and future. *J. Range Manage.* 34: 248-251.
- Mah, M. G. C., L. A. Douglas, and A. J. Ringrose-Voase. 1992. Effects of crust development and surface slope on erosion by rainfall. *Soil Science*. 154: 37-43.
- McMinn, J. W. 1980. Total-Forest concept in multi-resource management. *J. of Forestry*. 208-210.
- Medina T., J. G. y J. Gutiérrez C. 1990. Manejo de cuencas hidrológicas. *Revista Manejo de Pastizales. SOMMAP*. 3: 34-40.
- Mitchell, J. E. and R. T. Rodgers. 1985. Food habits and distribution of cattle on a forest and pasture range in northern Idaho. *J. Range Manage.* 38: 214-220.
- Mitchell, J. K. and G. D. Bubenzer. 1984. Estimación de la pérdida de suelo. pp 35-88. En: M. J. Kirkby y R. P. C. Morgan (comps). *Erosión de suelos*. Editorial Limusa. México.
- Moore, E., E. Jones, F. Kinsinger, R. Pitney, and J. Sainsburry. 1979. *Livestock grazing management and water quality protection*. United State Bureau of Land Management. Denver, Co. EPA 91019-79-67. 147 p.
- Pereira, H. C. 1973. *Land use and water resources in temperate and tropical climates*. Cambridge University Press. London, Great Britain. 246 p.

- Pieper, R. D. 1973. Measurement techniques for herbaceous and shrubby vegetation. New Mexico State University Press. Las Cruces, N. M. 148 p.
- Pritchett, W. L. 1986. Suelos forestales, propiedades, conservación y mejoramiento. Editorial Limusa. México. 634 p.
- Rachal, J. M. and B. L. Karr. 1988. Effects of current harvesting practices on the physical properties of a loessal soil in west central Mississippi. pp 527-532. In: J. H. Miller (comp). Proceedings of the Fifth Biennial Southern Silvicultural Research Conference. USDA Forest service. Southern Forest Experiment Station. New Orleans, La., USA.
- * Sarukán, J. y J. M. Maass. 1990. Bases ecológicas para un manejo sostenido de los ecosistemas: el sistema de cuencas hidrológicas. pp 81-114. En: E. Leff (Coord.). Medio Ambiente y desarrollo en México. CIIH. UNAM. México.
- Shankarnarayan, K. A., K. D. Sharma, and A. K. Kalla. 1987. Effect of grazing on runoff and soil loss in Kailana Rhyolite Basins. Annals of Arid Zone. 26: 111-113.
- Sidle, R. C. and A. N. Sharpley. 1991. Cumulative effects of land management on soil and water resources: An overview. J. Envir. Qual. 20: 1-3.
- Spurr, S. H. y B. V. Barnes. 1982. Ecología forestal. A G T Editor. México. 690 p.
- Steel, D. R. y J. H. Torrie. 1985. Bioestadística, principios y procedimientos. 2a ed. Editorial McGraw-Hill, Latinoamericana S. A. Bogotá, Colombia. 622 p.
- Stoddard, C. H. 1978. Essentials of forestry practice. 3a ed. John Wiley and Sons, Inc. USA. 387 p.
- Swank, W. T. and D. H. Van Lear. 1992. Multiple-Use management. Ecological Applications. 2: 219-220.
- Tamhane, R. L., R. W. Miller y J. C. Shicluna. 1981. Introducción a los suelos y al crecimiento de las plantas. Editorial Prentice Hall Internacional. Bogotá, Colombia. 624 p.

- Troendle, C. A. 1987. The potential effect of partial cutting and thinning on streamflow from the subalpine forest. Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station. USDA Forest Service. Research Paper RM-274. Fort Collins, Co. 8 p.
- Trujillo, R. R. 1986. Estudio dasonómico de manejo integral de "Santa Bárbara". UAF No. 8 "Regocijo". Durango, México. Inedito.
- Wester, D. B. 1992. Viewpoint: Replication, randomization, and statistics in range research. *J. Range Manage.* 45: 285-290.
- Wilcox, B. P., M. K. Wood, and J. M. Tromble. 1988. Factors influencing infiltrability of semiarid mountain slopes. *J. Range Manage.* 41: 197-206.
- Wilcox, B. P., M. K. Wood, J. M. Tromble, and T. J. Ward. 1986. A hand portable single nozzle rainfall simulator designed for use on steep slopes. *J. Range Manage.* 39: 375-379.
- Wolters, G. L. 1981. Timber thinning and prescribed burning as methods to increment herbage on grazed and protected longleaf pine range. *J. of Range Manage.* 34: 494-446.
- Wood, J. C., W. H. Blackburn, H. A. Pearson, T. K. Hunter and R. W. Knight. 1987a. Assessment of silvicultural and grazing treatment impacts on infiltration and runoff water quality of longleaf slash pine forest, Kisatchie National Forest, Louisiana. pp 245-249. *In: H. A. Pearson, F. E. Smeins, and R. E. Thill (comps). Ecological, Physical, and socioeconomic relationships within Southern National Forest. Southern Forest Experiment Station. USDA Forest Service. New Orleans, Lo., USA.*
- Wood, J. C., M. K. Wood, and J. M. Tromble. 1987b. Important factors influencing water infiltration and sediment production on arid lands in New Mexico. *J. of Arid Envir.* 12: 11-118.
- Wood, M. K. and W. H. Blackburn. 1981. Grazing systems: Their influence on infiltration rates in Rolling Plains of Texas. *J. Range Manage.* 34: 331-335.
- Zimmermann, R. C. 1983. Impactos ambientales de las actividades forestales. Guia FAO: Conservación No. 7. FAO. Roma, Italia. 80 p.