

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA
" ANTONIO NARRO "

DIVISION DE AGRONOMIA



TENDENCIA DE LA INFILTRABILIDAD EN EL PERFIL
FISIOGRAFICO DE LAS CUENCAS PASO DE PIEDRA Y
LAS BAYAS, DURANGO.

POR

OMAR SAUCEDO MARTINEZ

TESIS PROFESIONAL

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO FORESTAL

BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA, MEXICO
NOVIEMBRE DE 2000

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"

DIVISION DE AGRONOMIA

**TENDENCIA DE LA INFILTRABILIDAD EN EL PERFIL FISIOGRAFICO DE LAS
CUENCAS PASO DE PIEDRA Y LAS BAYAS, DURANGO.**

POR

OMAR SAUCEDO MARTINEZ

TESIS PROFESIONAL

PRESNTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO FORESTAL

BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA, MEXICO.
NOVIEMBRE DE 2000

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA

"ANTONIO NARRO"

DIVISION DE AGRONOMIA

**TENDENCIA DE LA INFILTRABILIDAD EN EL PERFIL FISIOGRAFICO DE LAS
CUENCAS PASO DE PIEDRA Y LAS BAYAS, DURANGO.**

TESIS PROFESIONAL

POR

OMAR SAUCEDO MARTINEZ

QUE SOMETE A CONSIDERACION DEL H. JURADO EXAMINADOR COMO
REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO FORESTAL

APROBADA:

DR. ALEJANDRO ZÁRATE LUPERCIO
ASESOR PRINCIPAL

ING.M.C. JOSE DUEÑEZ ALANIS
ASESOR

ING. M.C. LUIS PÉREZ ROMERO
ASESOR

ING.M.C. REYNALDO ALONSO VELASCO
COORDINADOR DE LA DIVISION DE AGRONOMIA

BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA, MEXICO
NOVIEMBRE DE 2000

DEDICATORIA

A MI FAMILIA

Sin la cual no hubiese podido lograr el objetivo de mi formación como un profesional, a la cual le estaré eternamente agradecida.

A Mis Padres

Ernesto Saucedo Soto
Consuelo Martínez Guardado

A Mis Hermanos

Edgar Jesus
Mario Ernesto
Jorge Alejandro
Alonso Israel

A Mi Novia

Karla Magaly Romero Rodríguez

A Mis Amigos

Gregorio Jara, Luis M. Martínez, Juan M. Pérez, José J. Ochoa, Edgar A. Puentes,
Oscar Cisneros, Elpidio Paez, Manuel Casanova, Laura Romero, Santiago García,
Alejandro González

A Mis Cuñadas

Silvia Ramírez
Socorro Ramírez

A Mis Sobrinas

Abril
Fátima

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro por las facilidades otorgadas para la realización de este trabajo.

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

Al Instituto de Silvicultura e Industria de la Madera (ISIMA) de la Universidad Juárez del Estado de Durango (UJED) por las facilidades otorgadas para la realización de este trabajo.

Al Ing. MC José Dueñez Alanis por su disposición, paciencia, consejos y apoyo incondicional en la realización y culminación de la presente tesis y el aliento para seguir adelante y sobre todo por su amistad brindada durante el tiempo de conocerlo, con quien comparto el mérito del trabajo.

Al Dr. Alejandro Zárate Lupercio por su valiosa participación y colaboración en el aspecto estadístico y culminación de la presente tesis.

Al Ing. MC Luis Pérez Romero por su amistad y facilidades otorgadas en la realización de esta investigación.

Al Ing. MC Melchor García por su orientación, formación y conocimientos otorgados durante mi formación profesional.

Al Sr. Juan Tinoco, Administrador de la Compañía Ganadera "Santa Barbara" por su apoyo y facilidades para la realización del trabajo de campo.

Al Sr. José Gallegos, encargado del campo experimental "Las Bayas" del Instituto de Silvicultura e Industria de la Madera (ISIMA) de la Universidad Juárez del Estado de Durango, por sus facilidades para la realización del trabajo de campo.

En forma muy especial al Sr. Luis Manuel Martínez Rico por su gran amistad compartida, además del apoyo en la toma de datos de campo y realización del trabajo, con quien comparto el mérito.

A la laboratorista Silvia Guerrero por su colaboración y realización de los análisis de laboratorio.

A mis compañeros y amigos de la especialidad, con quienes comparto el mérito del presente trabajo.

Al Ing. Eloy A. Lozano e Ing. Alejandro García por sus consejos, quienes me han demostrado estar conmigo en momentos críticos.

INDICE DE CONTENIDO

	PAGINA
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
INDICE DE FIGURAS.....	viii
INDICE DE CUADROS.....	ix
INTRODUCCION.....	1
Objetivos.....	2
Hipótesis.....	2
Justificación.....	3
REVISION DE LITERATURA.....	4
Proceso de Infiltración.....	4
Definiciones.....	4
Estudios Relacionados.....	7
MATERIALES Y METODOS.....	11
Descripción general de las cuencas.....	11
Hidrología.....	12
Vegetación.....	12
Clima.....	14
Suelo.....	14
Uso del Suelo.....	15
Descripción de los perfiles fisiográficos.....	17
Descripción de los sitios de estudio.....	17
Paso de Piedra.....	17
Las Bayas.....	18
Descripción del Simulador.....	20
Metodología.....	20
Simulación de Lluvia.....	21
Estimación de la tasa de escurrimiento.....	21
Estimación de la infiltrabilidad.....	22
Estimación de las características de suelo.....	22
Estimación de las características de vegetación.....	23
Análisis Estadístico.....	24
Diseño estadístico.....	24

Prueba de medias.....	24
Análisis de Correlación y regresión múltiple.....	24
RESULTADOS Y DISCUSION.....	26
Cuenca Hidrológica Paso de Piedra.....	26
Cuenca Hidrológica Las Bayas.....	36
CONCLUSION.....	46
RESUMEN.....	47
LITERATURA CITADA.....	50

INDICE DE CUADROS

CUADRO		PAGINA
1	Especies vegetales características del área de estudio para la cuenca Paso de Piedra.....	13
2	Valores de "F" para la cuenca Paso de Piedra.....	28
3	Valores de las características del suelo y del terreno estimadas para los sitios de estudio de la cuenca Paso de Piedra.....	30
4	Valores de la cubierta del suelo en los sitios de estudio para la cuenca Paso de Piedra.....	31
5	Valores de las variables silvícolas determinadas para los perfiles Fisiográficos en la cuenca Paso de Piedra.....	32
6	Valores del coeficiente de determinación (r^2) del modelo de regresión múltiple por el método "stepwise" de las variables que influyen la infiltrabilidad del suelo por periodo de tiempo (minutos) por el método de regresión múltiple en la cuenca Paso de Piedra.....	34
7	Valores de "F" para la cuenca Las Bayas.....	37
8	Valores de las características del suelo y del terreno estimadas para los sitios de estudio de la cuenca Las Bayas.....	38
9	Valores de la cubierta del suelo en los sitios de estudio para la cuenca Las Bayas.....	40
10	Valores de las variables silvícolas determinadas para los perfiles Fisiográficos en la cuenca Las Bayas.....	42
11	Valores del coeficiente de determinación (r^2) del modelo de regresión múltiple por el método "stepwise" de las variables que influyen la infiltrabilidad del suelo por periodo de tiempo (minutos) por el método de regresión múltiple en la cuenca Las Bayas.....	43

INDICE DE FIGURAS

FIGURA		PAGINA
1	Infiltrabilidad del suelo (cm/hr) en las cuencas hidrológicas Paso de Piedra (a) y Las Bayas (b) en los perfiles Fisiográficos de los afluentes del cauce principal.....	27

INTRODUCCION

Los bosques de zonas templados tienen una gran variedad de recursos tales como el agua, la madera, el forraje, el paisaje, la fauna, la recreación, la minería entre otros; a través de los cuales se obtienen bienes y servicios que el hombre utiliza para satisfacer sus necesidades. Estas zonas generan de los más importantes que sirven a los habitantes el cual es el recurso agua (Caballero, 1990). El hombre al hacer uso del recurso (uso del suelo) y obtener productos y beneficios del bosque ha impactado estas zonas, alterando los procesos y su sustentabilidad, debido a la falta de conocimiento, técnicas apropiadas de manejo y una falta de planeación del uso y aprovechamiento de los recursos naturales. Los procesos hidrológicos de estos ecosistemas son de los más alterados con las actividades de uso del suelo. En la planeación del manejo integral del bosque, poco se ha enfatizado sobre el agua como un recurso, de igual forma no se consideran sus relaciones con otros recursos asociados. El manejo de cuencas hidrológicas es una disciplina que considera estas interrelaciones, por lo cual puede establecer el impacto del manejo de los recursos naturales en el agua como recurso base.

El impacto de uso y manejo de los recursos en un área y los procesos hidrológicos son fácilmente cuando son alterados; en una zona templada se identifican estas alteraciones de una manera más sencilla, debido a que cuando ocurre cualquier evento de precipitación gran parte de esta escurre sobre la superficie o se pierde por evaporación directamente, lo que no pasa cuando a un bosque se le da un manejo adecuado, es por eso que el estudio hidrológico debe estar

implícito cuando se elaboren planes de manejo forestal y de pastizales, ya que el ignorar los efectos de las actividades forestales y pecuarias sobre las propiedades físicas y químicas del suelo y del agua acelera el deterioro de las partes altas y bajas de la cuenca hacia los arroyos, al mismo tiempo que los cambios de vegetación y las condiciones del suelo alteran el escurrimiento y reduce la infiltración del agua al suelo (Talavera, 1996)

Cabe señalar que este tipo de estudios son de vital importancia para poder tener referencias cuando se elaboren planes de manejo para estas áreas, por tal motivo su importancia radica en poder determinar las áreas que contribuyen mayormente al agua del cauce y por lo tanto más susceptibles de deterioro.

Los objetivos de la presente investigación son los siguientes:

- Determinar la tendencia de la infiltrabilidad del suelo en el perfil fisiográfico de las cuencas Paso de Piedra y Las Bayas, Durango.
- Analizar algunos factores de suelo y vegetación que influyen en la infiltración del agua en el perfil fisiográfico de las cuencas Paso de Piedra y Las Bayas, Durango.

En la presente investigación se plantean las siguientes hipótesis:

- La tendencia de la infiltrabilidad del suelo es significativamente superior en la parte alta del perfil fisiográfico.
- La infiltrabilidad es influenciada por algunos factores de suelo y vegetación en la parte alta del perfil fisiográfico de las cuencas.

Justificación

El contar con información sobre los procesos hidrológicos dentro de las zonas templadas sirve para mejorar las alternativas de uso del suelo (forestal-pecuario). Así mismo, el conocer el comportamiento de la infiltrabilidad y el escurrimiento superficial en los perfiles fisiográficos son de gran importancia para poder tener en cuenta las áreas que son críticas en estos procesos hidrológicos, las cuales si se aprovechan de una manera no sustentable tendrían grandes avenidas de agua y con ello la erosión del suelo provocando inundaciones y azolvamientos de las partes bajas y por lo tanto poca infiltrabilidad del suelo. Es por eso que el conocer el comportamiento de los procesos hidrológicos dentro de estas zonas con aprovechamientos forestales y pecuarios dan el margen para poder determinar la influencia que ejercen ambas actividades sobre dichos procesos.

R E V I S I O N D E L I T E R A T U R A

Proceso de Infiltración

Definiciones

La infiltración fue reconocida en el ciclo hidrológico por primera vez por Horton en (1933), el cual la define como la entrada de agua al suelo, y debe ser considerado como un fenómeno superficial (Davis y Deweist, 1974). Por su parte Hillel (1971;1982) la define de la misma manera, y al mismo tiempo define la Infiltrabilidad como el flujo de agua que el perfil de la tierra puede absorber a través de la superficie cuando tiene contacto el agua a presión atmosférica y se encuentra disponible sobre la superficie del suelo.

La infiltración envuelve 3 procesos, los cuales son: entrada a través de la superficie del suelo, almacén dentro del suelo y transmisión a través del suelo (Dunne y Luna, 1978).

El movimiento del agua dentro de los suelos controla, no solamente el coeficiente de infiltración sino también el coeficiente de flujo subterráneo hacia arroyos y ríos (Kramer, 1974). Cuando la humedad del suelo es reducida y una gota de agua de lluvia toca la superficie del terreno, las fuerzas moleculares de este la atraen y hacen que se absorba rápidamente; en este fenómeno, el propio peso de la gota de agua tiene una importancia totalmente secundaria, pero cuando la superficie del terreno se humedece, el proceso de atracción molecular va perdiendo intensidad y la infiltración tiene lugar debido, a la atracción gravitatoria (Benítez, 1972).

El subsuelo en muchos puntos es menos permeable que el suelo en los horizontes superiores, en momentos de abundante infiltración se retarde la infiltración descendente y se forme en el mismo suelo una zona de saturación temporal en los horizontes superiores (Benítez, 1972).

Los rangos de infiltración son expresados en unidades de profundidad por unidad de tiempo, al mismo tiempo que la intensidad de lluvia (SEP, 1978).

Rodríguez (1981) menciona que cuando la lluvia empieza el agua que cae es interceptada por la cubierta vegetal, posteriormente se infiltra, saturando primero el terreno y el excedente del agua infiltrada se agrega a la percolación de las corrientes subterráneas; cuando se satisface la infiltrabilidad del suelo, el agua excedente escurre superficialmente, puntualizando que el escurrimiento superficial marca el exceso a la infiltrabilidad en el cual se presenta en la superficie del terreno.

La cantidad de agua que se precipita durante la lluvia, antes de filtrarse por la capa vegetal, cuando este presente, experimenta considerable disminución el escurrimiento, aproximadamente, de esta agua el 50 % se evapora durante la lluvia, se intercepta por la vegetación o se filtra a los vasos de almacenamiento del subsuelo, o se pierde por escurrimiento (Wagner y Lenz, 1989).

La entrada de agua en un suelo seco es muy alto durante un breve tiempo, a medida que el suelo se humedece la infiltración disminuye rápidamente hasta alcanzar un punto de equilibrio constante (FAO, 1967). Así mismo, la disminución de la infiltración con el tiempo ocurre en cualquier momento a partir que el agua se ponga en contacto

con el terreno. La obturación de las grietas y huecos de la superficie del suelo, debido al choque de las gotas de agua de la lluvia acelera el ritmo de esta disminución y rebaja el valor de la velocidad de equilibrio y la prevención de esta obturación mediante coberteras orgánicas muertas o cubiertas vegetativas mantiene en valores elevados la infiltrabilidad, reduciendo el escurrimiento y la erosión hídrica.

Dunne y Luna, (1978) menciona que en la mayoría de las regiones húmedas la infiltrabilidad es alta porque la vegetación protege al suelo del empape y dispersamiento de la lluvia y porque el contenido de humus y la actividad de microflora crean un suelo de estructura abierta.

Factores que afectan la Infiltrabilidad

Los cerros y montañas siempre que estén cubiertos de bosques captan y almacenan gran cantidad de agua. Influye en ello: el clima, el subsuelo poroso y pedregoso, la configuración topográfica de la región, el suelo o mantillo y la vegetación. Así mismo, la composición de la capa vegetal es de mucha importancia, pues de ella depende que el agua pluvial se infiltre acelerada o lentamente en el subsuelo y, que llegue a los almacenes subterráneos u ocasione erosión e inundaciones (Wagner y Lenz, 1989).

Así mismo Kramer (1974) y Wisler (1959) conciden en que los principales factores que afectan la infiltración del agua al suelo son los siguientes:

Contenido hídrico inicial, profundidad de detención de la superficie y espesor de la capa saturada, permeabilidad superficial, compactación del suelo por el impacto de la lluvia, compactación del suelo por el hombre y los animales, características internas del suelo,

lavado del material del suelo, grado de hinchazón de los coloides del suelo, macroestructura del suelo, cubierta vegetativa, efectos de las heladas, el aire atrapado en el suelo, cambios anuales y estacionales, contenido orgánico, duración de la lluvia, temperatura del suelo.

Estudios Relacionados

La mejor infiltración se obtiene con los suelos forestales caracterizados por una buena cubierta de mantillo y una baja densidad de masa, las raíces y los túneles realizados por la micro-fauna (Spurr y Barnes, 1982). La cual puede recorrer largos o cortos trayectos en el subsuelo hasta que se emerge en algún manantial (Wagner y Lenz, 1989). Así mismo, los bosques de Pinos retienen el 50 % de las precipitaciones pluviales; los oyameles (abetos) y encinos el 85 % y en las laderas cubiertas de pastos solamente el 5 %.

Gutiérrez y Salazar, (1986) realizaron un estudio donde se tenía como objetivo determinar si una plantación de pinos (tres etapas) ha incrementado la infiltración, y conocer su comportamiento a través de la edad de la plantación y de las épocas del año. Para cumplir con tal objetivo, se hicieron estimaciones de la infiltración a través del método de los anillos concéntricos, en sitios con árboles de 5, 9 y 14 años de edad y en una área sin reforestar, y durante primavera, verano, otoño e invierno; se utilizó un experimento factorial con un diseño completamente al azar y una comparación múltiple de Duncan. Encontrando de acuerdo a los análisis realizados que las tasas de infiltración se han visto incrementadas con la reforestación y que se presentaron entre las edades de la plantación a cualquier intervalo de tiempo. Ya que la infiltración fue mayor en el sitio con árboles de 5 años, seguido por el de 14 y 9 años de edad; y las infiltraciones menores se presentaron en el área sin reforestar. Así mismo durante los primeros minutos de la estimación, las épocas del año no

presentaron diferencias, y se encontraron variaciones hasta después de 30 minutos de iniciadas las estimaciones; las mayores tasas de infiltración se presentaron durante el verano.

Gutiérrez y Dueñez (1990) en un estudio evaluaron las tasas de infiltración por medio del método de los anillos concéntricos en cinco diferentes tiempos (minutos), en tres diferentes distancias y a partir de diferentes edades del arbolado (3 edades) de una reforestación. Durante el tiempo del experimento se mantuvo una carga constante al aplicar una lamina de 100 mm en forma continua. Encontrando que la infiltrabilidad es influenciada por la edad conforme transcurre el tiempo de una lluvia. Así mismo mencionan que conforme se aumenta la distancia del árbol, las infiltraciones tienden a reducir.

La compactación natural, o debida al transito, dificulta la penetración del agua y, por lo tanto reduce la capacidad de infiltración (Custodio y Ramón, 1976). Los agregados de partículas son divididos por el agua cuando llueve en zona desnuda las cuales arrastrara de este modo hacia el interior y bloquear poros y grietas impidiendo o retardando lo infiltrado. Así mismo, un suelo con excelente drenaje, puede tener una capacidad de infiltración baja debido ha este sellado de la superficie y capas superiores.

En otro estudio realizado por Gutiérrez y Rivera (1992) en un rancho demostrativo en el municipio de Saltillo, donde el tipo de vegetación en el sitio, es un pastizal mediano abierto. Al momento del estudio, el área tenia tres años de descanso, por lo que el efecto del animal no se tomo en cuenta. Se utilizo un simulador de lluvias del tipo formadores de gotas, para poder determinar la infiltrabilidad en 18 parcelas de 1 m², con una intensidad de lluvia de 13.37 cm/hr., recogíendose y estimando el volumen de escurrimiento superficial a los

tres minutos y después cada cinco minutos. La infiltrabilidad se determino como la diferencia de lluvia aplicada y el escurrimiento registrado después de haber sido transformado el volumen, a lamina de escurrimiento. El microrelieve lo estimaron por el método del marco de puntos. Encontrando que el suelo ocupado por pastizal mediano abierto presenta mayor depresiones que elevaciones, así mismo la rugosidad del terreno cuando se presenta en forma perpendicular a la pendiente, aumenta la infiltrabilidad, disminuye los escurrimientos y las perdidas de suelo y como consecuencia incrementa la actividad biológica y la productividad del sitio. Y el microrelieve de un suelo de pastizal presento una relación negativa con la infiltrabilidad de un suelo de pastizal mediano abierto.

Wagner y Lenz (1989) mencionan que cuando se trata de suelo impermeable y de pendiente suave, con superficie compacta, la capacidad de infiltración será bastante reducida. Pero si el suelo es de superficie suelta y bien fondeada, y las capas rocosas del subsuelo también sueltas y surcadas de grietas, existen condiciones favorables para un abundante abastecimiento subterráneo de agua que en época de sequía aprovechan los manantiales.

Gutiérrez y De Luna, (1988) en un estudio establecieron como objetivo comparar las tasas de infiltración en tres unidades de suelo ocupadas por pastizal mediano abierto y definir las variables de suelo que afectan al procesos, dicho estudio fue en el rancho los ángeles (campo experimental U.A.A.A.N.), utilizando un simulador para aplicar 13.75 cm/hr de lluvia en 5 parcelas de 1 m² por unidad de suelo con el fin de estimar en seco y en húmedo la infiltración a intervalos definidos; los datos se examinaron con un análisis de covarianza en un diseño completamente al azar y se utilizo una regresión múltiple para definir las variables. Encontrando en las muestras que no existe diferencias

estadísticas entre unidades de suelo para las tasas de infiltración y que la infiltración es influenciada por el suelo desnudo, el porcentaje de arena y la densidad aparente.

Gutiérrez y De Luna (1989) realizaron un estudio en una reforestación con *Pinus halapensis* donde se encontraban cuatro etapas así como una sin plantar, el estudio fue en la zona de reforestación Zapalinamé. Para estimar las tasas de infiltración, se utilizó un simulador de lluvias basado en los principios y características del diseño reportado por Blackburn *et al.* (1974). Las pruebas fueron llevadas en seco, con una intensidad de lluvia de 12 cm/hr en siete parcelas de 1 m² para cada tratamiento, por un periodo de sesenta minutos. En cada corrida de lluvia se estimó el escurrimiento superficial cada cinco minutos. Con el fin de evaluar el efecto de la edad de la plantación sobre las tasas de infiltración en periodos de tiempo definido, se utilizó un análisis de varianza en un diseño completamente al azar y una prueba de medias utilizando el método de Tukey. Se utilizaron regresiones para relacionar las variables de los sitios con la infiltración, lo cual según los resultados muestran que durante los primeros cinco minutos la entrada es similar en todas las áreas y después de diez minutos y hasta el término de la lluvia simulada la infiltración presenta un comportamiento sostenido. Además de que los resultados muestran que el área sin reforestar presenta mayores infiltraciones que las áreas con arbolado, además, la cubierta total de gramíneas, herbáceas, arbustos, hojarasca y microflora, presentan una relación positiva en la infiltración.

MATERIALES Y METODOS

Descripción General de las Cuencas

El estudio fue realizado en las cuencas Hidrológicas Paso de Piedra y Las Bayas, localizadas en la región forestal de la Sierra Madre Occidental, pertenecientes al Municipio de Durango, Durango.

La cuenca Paso de Piedra cuenta con una superficie de 6,050 ha la cual esta ubicada en la Hacienda Ganadera Santa Barbara, 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, 1972a; CETENAL, 1973). Dicha cuenca se encuentra localizada al oeste de la ciudad de Durango, Dgo. y para llegar a ella se utiliza la carretera federal numero 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.

La cuenca Las Bayas cuenta con una superficie 5846 ha la cual esta ubicada en el predio del Intitulo de Silvicultura e Industria de la Madera (ISIMA) de la Universidad Juárez del Estado de Durango, y parte del Ejido Las Bayas; sus coordenadas geográficas son $23^{\circ}24'44''$ y $23^{\circ}27'47''$ de latitud Norte y $104^{\circ}46'51''$ y $104^{\circ}51'49''$ de longitud Oeste (CETENAL, 1972b; CETENAL, 1973). El área se encuentra al sureste de la Ciudad de Durango, y para poder llegar a ella se toma la carretera municipal Durango - Ferrería, a partir de este último punto se recorren 30 Km. de carretera pavimentada, siguiendo el mismo camino aproximadamente a 35 Km. de terracería se encuentra el Ejido la Flor, de aquí se toma una brecha de 9 Km. que nos conduce al ejido las

Bayas donde se encuentra la desviación que va hacia el Campo Experimental de ISIMA.

Hidrología

Los principales cauces de la Cuenca Paso de Piedra están constituidos por arroyos, los cuales 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 Hidrológica 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 Adrianes, Gándara, Charcos de Paez y Palos Prietos (CETENAL, 1972a; CETENAL, 1973). Para el abastecimiento de agua que se necesita para el 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).

Para el caso de la cuenca las Bayas los principales cauces están constituidos por los arroyos los Alisos, Santa Susana y Abrevaderos, los cuales llevan sus corrientes al cauce principal siendo este el Arroyo el Pescador (CETENAL, 1972b; CETENAL, 1973) y este a su vez constituye uno de los afluentes del Río las Bayas, el cual desemboca en la Presa denominada Guadalupe Victoria. También forma parte de la cuenca del río San Pedro, Región Hidrológica numero 11 Presidio-San Pedro (INEGI, 1989).

Vegetación

El tipo de vegetación en la cuenca Paso de Piedra es un bosque de coníferas de los géneros Pino y Quercus, con áreas de pastizal intermontano de especies nativas e inducidas (CETENAL, 1976a;

CETENAL,1976b). Las especies características del área de estudio reportadas por Trujillo (1986) son las mostradas en el cuadro 1.

Cuadro 1. Especies vegetales características del área de estudio cuenca Paso de Piedra, Durango (Trujillo, 1986).

NOMBRE CINTIFICO	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 rosilla
<i>P. duranguensis</i>	Pino blanco o pino real de 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>Juníperos sp.</i>	Táscate
<i>Arbutos 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>	Zacaton
<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

Las Bayas presenta una vegetación en el área en cuestión un bosque natural de coníferas y algunas latifoliadas, constituido principalmente por especies de los géneros Pinus y Quercus, con algunas áreas de pastizal intermontano de especies nativas (CETENAL, 1972c; CETENAL, 1976b).

Clima

De acuerdo a la clasificación climática de Koppen, modificado para México por García (1973) ambas cuencas corresponden a un clima de tipo: C (w2) y C (e)(w2) el cual se describe como sigue:

C (w2) presenta una temperatura media anual entre 12 y 18° C y el mes mas frío entre -3 y 18° C; y por su régimen de lluvias es él más húmedo de los templados subhúmedos, con lluvias en verano y coeficiente P/T es mayor de 55. C (e)(w2) presenta temperatura media anual entre 12 y 18° C y con oscilaciones de temperatura extremas entre 7 y 14° C y el mes más frío entre -3 y 18° C; además que por su régimen de lluvias, es él más húmedo de los templados subhúmedos, con lluvias en verano y coeficiente P/T es mayor de 55.0.

Suelo

El asiento geológico del área de estudio (Cuenca Paso de Piedra) data del periodo Cenozoico Medio Volcánico; el suelo es derivado de rocas ígneas, con una 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 eutríco, regosol eutríco, feozem haplico y litosol (CETENAL, 1976a; CETENAL, 1976b; Trujillo, 1986).

Las Bayas presentan un asiento geológico del periodo cenozoico medio volcánico, los tipos de suelo presentes son derivados de rocas ígneas, con una profundidad media de 10 a 50 cm, color castaño claro y una clase textural media, con un Ph que va de 5.8 a 6.5, consistencia moderadamente dura a dura, estructura de bloques angulares finos a granular y presentan un alto contenido de materia orgánica en diversos grados de descomposición, de acuerdo a la FAO-UNESCO modificado por DETENAL, los tipos de suelo presentes en el área de estudio son regosol eutríco, cambisol eutríco y litosol (CETENAL, 1972c; CETENAL, 1976b).

Uso del Suelo

La explotación ganadera en la Cuenca Paso de Piedra, es la actividad primaria desde 1946; así mismo a partir de 1987 se están realizando aprovechamiento de madera, los cuales habían sido suspendidos desde 1965, cuando fueron intervenidos para aplicar el Método de Ordenación de Selección. Trujillo, (1986) menciona que la cuenca cuenta con una superficie de pastizal excelente y susceptible de pastorear y donde es posible explotar madera, ambos usos son aplicados de manera conjunta en un área de 3743 ha, es decir el área presenta uso múltiple con actividades forestales y pecuarias. El manejo del uso forestal y pecuario 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. La extracción de las trozas se realiza por medio de malacates, montado en un camión grúa diseñando 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 1,000 hembras-vientre y 64 sementales de las razas Herford, Brangus, Simental y Cebuínas (Brahaman e Indobrasil).

El uso del suelo para la cuenca Las Bayas esta comprendido por aprovechamientos forestales y pecuarios, los cuales se describen a continuación:

El aprovechamiento maderable esta comprendido por El Método silvícola de árboles padre, y la extracción de las trozas es por medio de grúas.

El uso pecuario básicamente es una actividad que no toma tanta importancia en comparación con el aprovechamiento forestal. El predio cuenta con terrenos excelentes de pastorear, los cuales no son aprovechados de ninguna forma. Para el caso del ejido el numero de animales esta determinado por la condiciones económicas que tiene

cada ejidatario. No tomándole tanta importancia a lo pecuario como a lo forestal; la raza bovina presente en el área es criolla.

Descripción de los perfiles fisiográficos

Los sitios de estudio fueron seleccionados en base a las características de la pendiente, considerándolos perfiles Fisiográficos perpendiculares por donde los escurrimientos fluyen a los cauces (parte alta, media y baja). Denominándose parte alta a la zona mas alta y pronunciada del perfil, parte media, a la zona intermedia del perfil, con una pendiente mayor a la parte mas cercana al cauce y parte baja a la porción del terreno mas cercano al cauce.

Descripción de los sitios de Estudio

Paso de Piedra

Perfil 1. Se encuentra a una altitud promedio de 2246 metros sobre el nivel del mar, con un rumbo de 43° Noroeste, y una pendiente media de 3.7° . Así mismo presenta una escasa presencia de arbolado (pino-encino). Este sitio se encuentra pastoreado por búfalos.

Perfil 2. La densidad de la vegetación arbórea se encuentra en una relación promedio 1:1 (pino-encino), con presencia de excretas de bovinos. Se encuentra a una altitud promedio de 2322 metros sobre el nivel del mar, con un rumbo de 70° Sureste, y una pendiente promedio de 9.15° .

Perfil 3. La cubierta vegetal esta caracterizada por el alta presencia de gramíneas, con un promedio de densidad de pino adulto de 8 y de renuevo de 11. Se encuentra a una altitud promedio de 2384

metros sobre el nivel del mar, con un rumbo de 90° Norte, y una pendiente media de 6.9° .

Perfil 4. Presenta una densidad promedio de pino adulto de 6 y un promedio de renuevo de 16, la cobertura esta caracterizada por las gramíneas. Se encuentra a una altitud promedio de 2340 metros sobre el nivel del mar, con un rumbo de 38° Noroeste, y una pendiente media de 3° .

Perfil 5. Este perfil presenta la segunda densidad de pino mas alta para esta cuenca, aproximadamente 30 en promedio y una regeneración aproximada de 4, la cobertura dominante es la hojarasca. Se encuentra a una altitud promedio de 2424 metros sobre el nivel del mar, con un rumbo de 35° Noroeste, y una pendiente media de 6.15° .

Perfil 6. Es el perfil que presenta la mas alta densidad de pinos, aproximadamente 32 y un renuevo promedio de 11, la cobertura dominante es la hojarasca. Se encuentra a una altitud promedio de 2332 metros sobre el nivel del mar, con un rumbo de 29° Este, y una pendiente media de 1.8° .

Las Bayas

Perfil 1. Presenta aproximadamente un promedio de pino adulto de 12 y de renuevo de 10, la cobertura esta caracterizada por herbáceas. Se encuentra a una altitud promedio de 2717 metros sobre el nivel del mar, con un rumbo de 35° Noreste y una pendiente media de 4.35° .

Perfil 2. Esta constituido por pino adulto, aproximadamente en promedio de 12, y en mayor proporción por encino, aproximadamente

63 en promedio y de renuevo de pino de 12, la cobertura esta caracterizada por hojarasca. Se encuentra a una altitud promedio de 2727 metros sobre el nivel del mar, con un rumbo de 38° Noroeste y una pendiente media de 5.1° .

Perfil 3. Presenta aproximadamente un promedio de 26 pinos adultos y de renuevo de 22, para el caso de encino de 16, y la cobertura esta caracterizada por las herbáceas. Se encuentra a una altitud promedio de 2679 metros sobre el nivel del mar, con un rumbo de 45° Sureste, y una pendiente media de 2.81° .

Perfil 4. Presenta un promedio aproximado de 44 pinos adultos y de 52 renuevos y nula escasa de encino, la cobertura característica son las herbáceas. Se encuentra a una altitud promedio de 2679 metros sobre el nivel del mar, con un rumbo de 20° Sur, y una pendiente media de 2.43° .

Perfil 5. Esta constituido por 10 pinos aproximadamente en promedio y renuevo de 2 y de encino de 10, la cubierta característica son las gramíneas. Se encuentra a una altitud promedio de 2848 metros sobre el nivel del mar, con un rumbo de 90° Sureste, y una pendiente media de 1.88° .

Perfil 6. Comprende aproximadamente un promedio de 12 pinos adultos y de renuevos 3, y de encino de 10, la cubierta característica son las gramíneas. Se encuentra a una altitud promedio de 2868 metros sobre el nivel del mar, con un rumbo de 90° Norte y una pendiente media de 3.03° .

Descripción del simulador

El simulador fue construido basándose en el descrito por Wilcox *et al.*, (1986), el cual consiste de una boquilla fija al cual se le adaptó una válvula de paso para controlar la intensidad de lluvia, la cual en este caso fue de 165.01 mm/hr.

El simulador consta de un rociador de cabeza y un tripie de soporte de altura ajustable además de una cortina contra el viento la cual esta formada por tres plásticos triangulares de polietileno y unidos con hilo de cáñamo con el fin de 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 la cabeza.

Metodología

Las cuencas bajo estudio se seleccionaron debido a que cumplían las consideraciones para cumplir los objetivos del trabajo, para lo cual se realizaron recorridos preliminares para localizar las áreas con perfiles Fisiográficos deseables en la región boscosa de la Sierra Madre Occidental en el Estado de Durango. Fueron seleccionados 6 perfiles Fisiográficos por cuenca, los cuales fueron seleccionados teniendo en cuenta las siguientes consideraciones: además de que presentara características topográficas deseables que presentaran accesibilidad, que fueran en los afluentes principales y que desembocaran al cauce principal de cada cuenca. Cabe mencionar que ambas cuenca presentan un uso múltiple del suelo (forestal-pecuario).

Simulación de Lluvia

Las pruebas de simulación de lluvias se realizaron durante los meses de junio y Julio del 2000.

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 aproximada de cinco centímetros, insertando una canaleta en la parte inferior del aro; enseguida se monto 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 esta incidiera sobre la parcela; posteriormente se tomó la cortina rompevientos.

Una vez instalado el simulador de lluvias, se reguló y aplicó una intensidad de 165.01 mm/hr, después se retiró el plástico de la parcela y se inició la aplicación de la lluvia sobre la misma, cada evento de simulación de las parcelas tuvo una duración de 40 minutos. La alimentación del flujo de agua al simulador provenía por gravedad de un tonel de 450 litros, adaptado para tal propósito mediante una ponybomba de 12 volts.

Estimación de la Tasa de Escurrimiento

El volumen de escurrimiento se determinó en periodos de tiempo a los 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 y 40 minutos. La tasa de escurrimiento (cm/hr) fue calculada a partir del volumen de escurrimiento colectado, de la siguiente forma:

$$\text{Tasa de Escurrimiento} = \frac{\text{Volumen de Escurrimiento}}{\text{Area de la Parcela (cm}^2\text{)}} \cdot \frac{12}{1 \text{ hr}}$$

Estimación de Infiltrabilidad

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

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

Estimación de las características de suelo

Contenido de Humedad y Densidad Aparente. Primeramente antes de iniciar la prueba de la simulación, en la proximidad de las parcelas se colectó una muestra de suelo por medio de la extracción directa con las manos en los primeros 10 cm de profundidad, la cual fue pesada y posteriormente secada a la estufa a una temperatura de 65° C hasta que su peso fue constante. Por medio de esta información se pudo determinar el contenido de humedad del suelo (%) por el método gravimétrico y la densidad aparente (g/cm³) por el método de la parafina.

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

$$\text{Densidad Aparente} = \frac{\text{Masa de Sólidos (gr.)}}{\text{Volumen Total (cm}^3\text{)}} = \text{gr/cm}^3$$

Así mismo antes de cada simulación de lluvia se determinó la temperatura del suelo y el agua, por medio de un termómetro, los cuales se registraron en °F, para posteriormente transformarse a °C.

Pendiente. La pendiente fue determinada por medio de un clisímetro y se expresó por ciento, pero fue transformada a grados.

Textura y Materia Orgánica. A la finalización de cada prueba de simulación, se colectó una muestra de suelo de cada parcela en el horizonte 0-15 cm, la cual se llevó a laboratorio para su debido análisis; la textura se determinó por medio del método del hidrómetro de Bouyoucos y el contenido de materia orgánica por el método de Walkley y Black.

Estimación de las características de vegetación

Para poder determinar este factor se tuvo que delimitar sitios circulares con un radio de 17.84 (1,000 m²) a partir del centro de la parcela donde fue la simulación de la lluvia.

Estimación de la Cubierta Vegetal. La determinación de este factor fue por medio del método de puntos de contacto (Pieper, 1973) el cual fue 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 otros dos de 17 metros y los puntos de contacto de 25 centímetros, para poder ajustar un total de 200 registros de cobertura en las líneas; la cobertura del suelo se determinó para gramíneas, herbáceas, arbustos, hojarasca, piedras y grava, material parental y suelo desnudo.

Estimación de la Fitomasa Aérea. La cantidad de material vegetal se estimó en las parcelas experimentales, colectándose el material de gramíneas, herbáceas y arbustivo por el método de cosecha (Pieper, 1973) y la hojarasca manualmente, posteriormente se llevaron al laboratorio las cuales se secaron en una estufa a una temperatura de 65° C hasta obtener 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 por medio de una cinta diamétrica y posteriormente calcular su área basal.

Densidad de Renuevos y Arbustivas. La densidad se realizó en los sitios, estimándose la densidad de renuevos para las especies de *Pinus* spp., considerándose como renuevos aquel individuo menor de diez centímetros de diámetro y/o 2.5 metros de altura. La densidad de arbustos se registró para las especies de encino (*Quercus* spp.), táscate (*Juníperos* sp.).

Análisis Estadístico

Diseño Estadístico. Para poder cumplir con los objetivos planteados, los datos de infiltrabilidad para cada periodo de cinco minutos fueron analizados en un Diseño Completamente al azar.

Prueba de Medias. Después del análisis de varianza se realizó la prueba de separación de medias por el método de Tukey.

Análisis de Correlación y Regresión Múltiple. Para poder determinar los factores de suelo, vegetación y fisiográficos que influyen en mayor

grado en la infiltrabilidad del suelo en cada periodo de tiempo se procedió de la siguiente forma:

Las variables obtenidas fueron transformados a valores estándares (Steel y Torrie, 1985) para poder asumir una distribución normal.

Para evitar la dependencia lineal que exhiben algunas variables, se realizó una correlación parcial entre variables y se desecharon las que no mostraron un coeficiente de correlación al 0.30.

Y por último se realizo un análisis de regresión múltiple usando el método "stepwise" para encontrar las variables más relacionadas con la infiltrabilidad con una probabilidad del cinco porciento; el método se describe a continuación:

$$Y = a + b_1X_1 + b_2X_2 \dots b_kX_k + \epsilon$$

Donde:

Y= Variable dependiente (infiltrabilidad del suelo) para cada periodo de tiempo.

a= Es el intercepto.

$B_{1,2,k}$ = Coeficiente lineal del modelo.

$X_{1,2,k}$ = Variables independientes (características del suelo, vegetación y fisiográficas).

ϵ = Error aleatorio debido al experimento.

MATERIALES Y METODOS

Descripción General de las Cuencas

El estudio fue realizado en las cuencas Hidrológicas Paso de Piedra y Las Bayas, localizadas en la región forestal de la Sierra Madre Occidental, pertenecientes al Municipio de Durango, Durango.

La cuenca Paso de Piedra cuenta con una superficie de 6,050 ha la cual esta ubicada en la Hacienda Ganadera Santa Barbara, 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, 1972a; CETENAL, 1973). Dicha cuenca se encuentra localizada al oeste de la ciudad de Durango, Dgo. y para llegar a ella se utiliza la carretera federal numero 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.

La cuenca Las Bayas cuenta con una superficie 5846 ha la cual esta ubicada en el predio del Intitulo de Silvicultura e Industria de la Madera (ISIMA) de la Universidad Juárez del Estado de Durango, y parte del Ejido Las Bayas; sus coordenadas geográficas son $23^{\circ}24'44''$ y $23^{\circ}27'47''$ de latitud Norte y $104^{\circ}46'51''$ y $104^{\circ}51'49''$ de longitud Oeste (CETENAL, 1972b; CETENAL, 1973). El área se encuentra al sureste de la Ciudad de Durango, y para poder llegar a ella se toma la carretera municipal Durango - Ferrería, a partir de este último punto se recorren 30 Km. de carretera pavimentada, siguiendo el mismo camino aproximadamente a 35 Km. de terracería se encuentra el Ejido la Flor, de aquí se toma una brecha de 9 Km. que nos conduce al ejido las

Bayas donde se encuentra la desviación que va hacia el Campo Experimental de ISIMA.

Hidrología

Los principales cauces de la Cuenca Paso de Piedra están constituidos por arroyos, los cuales 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 Hidrológica 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 Adrianes, Gándara, Charcos de Paez y Palos Prietos (CETENAL, 1972a; CETENAL, 1973). Para el abastecimiento de agua que se necesita para el 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).

Para el caso de la cuenca las Bayas los principales cauces están constituidos por los arroyos los Alisos, Santa Susana y Abrevaderos, los cuales llevan sus corrientes al cauce principal siendo este el Arroyo el Pescador (CETENAL, 1972b; CETENAL, 1973) y este a su vez constituye uno de los afluentes del Río las Bayas, el cual desemboca en la Presa denominada Guadalupe Victoria. También forma parte de la cuenca del río San Pedro, Región Hidrológica numero 11 Presidio-San Pedro (INEGI, 1989).

Vegetación

El tipo de vegetación en la cuenca Paso de Piedra es un bosque de coníferas de los géneros Pino y Quercus, con áreas de pastizal intermontano de especies nativas e inducidas (CETENAL, 1976a;

CETENAL,1976b). Las especies características del área de estudio reportadas por Trujillo (1986) son las mostradas en el cuadro 1.

Cuadro 1. Especies vegetales características del área de estudio cuenca Paso de Piedra, Durango (Trujillo, 1986).

NOMBRE CINTIFICO	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 rosilla
<i>P. duranguensis</i>	Pino blanco o pino real de 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>Juníperos sp.</i>	Táscate
<i>Arbutos 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>	Zacaton
<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

Las Bayas presenta una vegetación en el área en cuestión un bosque natural de coníferas y algunas latifoliadas, constituido principalmente por especies de los géneros Pinus y Quercus, con algunas áreas de pastizal intermontano de especies nativas (CETENAL, 1972c; CETENAL, 1976b).

Clima

De acuerdo a la clasificación climática de Koppen, modificado para México por García (1973) ambas cuencas corresponden a un clima de tipo: C (w2) y C (e)(w2) el cual se describe como sigue:

C (w2) presenta una temperatura media anual entre 12 y 18° C y el mes mas frío entre -3 y 18° C; y por su régimen de lluvias es él más húmedo de los templados subhúmedos, con lluvias en verano y coeficiente P/T es mayor de 55. C (e)(w2) presenta temperatura media anual entre 12 y 18° C y con oscilaciones de temperatura extremas entre 7 y 14° C y el mes más frío entre -3 y 18° C; además que por su régimen de lluvias, es él más húmedo de los templados subhúmedos, con lluvias en verano y coeficiente P/T es mayor de 55.0.

Suelo

El asiento geológico del área de estudio (Cuenca Paso de Piedra) data del periodo Cenozoico Medio Volcánico; el suelo es derivado de rocas ígneas, con una 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 eutríco, regosol eutríco, feozem haplico y litosol (CETENAL, 1976a; CETENAL, 1976b; Trujillo, 1986).

Las Bayas presentan un asiento geológico del periodo cenozoico medio volcánico, los tipos de suelo presentes son derivados de rocas ígneas, con una profundidad media de 10 a 50 cm, color castaño claro y una clase textural media, con un Ph que va de 5.8 a 6.5, consistencia moderadamente dura a dura, estructura de bloques angulares finos a granular y presentan un alto contenido de materia orgánica en diversos grados de descomposición, de acuerdo a la FAO-UNESCO modificado por DETENAL, los tipos de suelo presentes en el área de estudio son regosol eutríco, cambisol eutríco y litosol (CETENAL, 1972c; CETENAL, 1976b).

Uso del Suelo

La explotación ganadera en la Cuenca Paso de Piedra, es la actividad primaria desde 1946; así mismo a partir de 1987 se están realizando aprovechamiento de madera, los cuales habían sido suspendidos desde 1965, cuando fueron intervenidos para aplicar el Método de Ordenación de Selección. Trujillo, (1986) menciona que la cuenca cuenta con una superficie de pastizal excelente y susceptible de pastorear y donde es posible explotar madera, ambos usos son aplicados de manera conjunta en un área de 3743 ha, es decir el área presenta uso múltiple con actividades forestales y pecuarias. El manejo del uso forestal y pecuario 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. La extracción de las trozas se realiza por medio de malacates, montado en un camión grúa diseñando 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 1,000 hembras-vientre y 64 sementales de las razas Herford, Brangus, Simental y Cebuínas (Brahaman e Indobrasil).

El uso del suelo para la cuenca Las Bayas esta comprendido por aprovechamientos forestales y pecuarios, los cuales se describen a continuación:

El aprovechamiento maderable esta comprendido por El Método silvícola de árboles padre, y la extracción de las trozas es por medio de grúas.

El uso pecuario básicamente es una actividad que no toma tanta importancia en comparación con el aprovechamiento forestal. El predio cuenta con terrenos excelentes de pastorear, los cuales no son aprovechados de ninguna forma. Para el caso del ejido el numero de animales esta determinado por la condiciones económicas que tiene

cada ejidatario. No tomándole tanta importancia a lo pecuario como a lo forestal; la raza bovina presente en el área es criolla.

Descripción de los perfiles fisiográficos

Los sitios de estudio fueron seleccionados en base a las características de la pendiente, considerándolos perfiles Fisiográficos perpendiculares por donde los escurrimientos fluyen a los cauces (parte alta, media y baja). Denominándose parte alta a la zona mas alta y pronunciada del perfil, parte media, a la zona intermedia del perfil, con una pendiente mayor a la parte mas cercana al cauce y parte baja a la porción del terreno mas cercano al cauce.

Descripción de los sitios de Estudio

Paso de Piedra

Perfil 1. Se encuentra a una altitud promedio de 2246 metros sobre el nivel del mar, con un rumbo de 43° Noroeste, y una pendiente media de 3.7° . Así mismo presenta una escasa presencia de arbolado (pino-encino). Este sitio se encuentra pastoreado por búfalos.

Perfil 2. La densidad de la vegetación arbórea se encuentra en una relación promedio 1:1 (pino-encino), con presencia de excretas de bovinos. Se encuentra a una altitud promedio de 2322 metros sobre el nivel del mar, con un rumbo de 70° Sureste, y una pendiente promedio de 9.15° .

Perfil 3. La cubierta vegetal esta caracterizada por el alta presencia de gramíneas, con un promedio de densidad de pino adulto de 8 y de renuevo de 11. Se encuentra a una altitud promedio de 2384

metros sobre el nivel del mar, con un rumbo de 90° Norte, y una pendiente media de 6.9° .

Perfil 4. Presenta una densidad promedio de pino adulto de 6 y un promedio de renuevo de 16, la cobertura esta caracterizada por las gramíneas. Se encuentra a una altitud promedio de 2340 metros sobre el nivel del mar, con un rumbo de 38° Noroeste, y una pendiente media de 3° .

Perfil 5. Este perfil presenta la segunda densidad de pino mas alta para esta cuenca, aproximadamente 30 en promedio y una regeneración aproximada de 4, la cobertura dominante es la hojarasca. Se encuentra a una altitud promedio de 2424 metros sobre el nivel del mar, con un rumbo de 35° Noroeste, y una pendiente media de 6.15° .

Perfil 6. Es el perfil que presenta la mas alta densidad de pinos, aproximadamente 32 y un renuevo promedio de 11, la cobertura dominante es la hojarasca. Se encuentra a una altitud promedio de 2332 metros sobre el nivel del mar, con un rumbo de 29° Este, y una pendiente media de 1.8° .

Las Bayas

Perfil 1. Presenta aproximadamente un promedio de pino adulto de 12 y de renuevo de 10, la cobertura esta caracterizada por herbáceas. Se encuentra a una altitud promedio de 2717 metros sobre el nivel del mar, con un rumbo de 35° Noreste y una pendiente media de 4.35° .

Perfil 2. Esta constituido por pino adulto, aproximadamente en promedio de 12, y en mayor proporción por encino, aproximadamente

63 en promedio y de renuevo de pino de 12, la cobertura esta caracterizada por hojarasca. Se encuentra a una altitud promedio de 2727 metros sobre el nivel del mar, con un rumbo de 38° Noroeste y una pendiente media de 5.1° .

Perfil 3. Presenta aproximadamente un promedio de 26 pinos adultos y de renuevo de 22, para el caso de encino de 16, y la cobertura esta caracterizada por las herbáceas. Se encuentra a una altitud promedio de 2679 metros sobre el nivel del mar, con un rumbo de 45° Sureste, y una pendiente media de 2.81° .

Perfil 4. Presenta un promedio aproximado de 44 pinos adultos y de 52 renuevos y nula escasa de encino, la cobertura característica son las herbáceas. Se encuentra a una altitud promedio de 2679 metros sobre el nivel del mar, con un rumbo de 20° Sur, y una pendiente media de 2.43° .

Perfil 5. Esta constituido por 10 pinos aproximadamente en promedio y renuevo de 2 y de encino de 10, la cubierta característica son las gramíneas. Se encuentra a una altitud promedio de 2848 metros sobre el nivel del mar, con un rumbo de 90° Sureste, y una pendiente media de 1.88° .

Perfil 6. Comprende aproximadamente un promedio de 12 pinos adultos y de renuevos 3, y de encino de 10, la cubierta característica son las gramíneas. Se encuentra a una altitud promedio de 2868 metros sobre el nivel del mar, con un rumbo de 90° Norte y una pendiente media de 3.03° .

Descripción del simulador

El simulador fue construido basándose en el descrito por Wilcox *et al.*, (1986), el cual consiste de una boquilla fija al cual se le adaptó una válvula de paso para controlar la intensidad de lluvia, la cual en este caso fue de 165.01 mm/hr.

El simulador consta de un rociador de cabeza y un tripie de soporte de altura ajustable además de una cortina contra el viento la cual esta formada por tres plásticos triangulares de polietileno y unidos con hilo de cáñamo con el fin de 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 la cabeza.

Metodología

Las cuencas bajo estudio se seleccionaron debido a que cumplían las consideraciones para cumplir los objetivos del trabajo, para lo cual se realizaron recorridos preliminares para localizar las áreas con perfiles Fisiográficos deseables en la región boscosa de la Sierra Madre Occidental en el Estado de Durango. Fueron seleccionados 6 perfiles Fisiográficos por cuenca, los cuales fueron seleccionados teniendo en cuenta las siguientes consideraciones: además de que presentara características topográficas deseables que presentaran accesibilidad, que fueran en los afluentes principales y que desembocaran al cauce principal de cada cuenca. Cabe mencionar que ambas cuenca presentan un uso múltiple del suelo (forestal-pecuario).

Simulación de Lluvia

Las pruebas de simulación de lluvias se realizaron durante los meses de junio y Julio del 2000.

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 aproximada de cinco centímetros, insertando una canaleta en la parte inferior del aro; enseguida se monto 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 esta incidiera sobre la parcela; posteriormente se tomó la cortina rompevientos.

Una vez instalado el simulador de lluvias, se reguló y aplicó una intensidad de 165.01 mm/hr, después se retiró el plástico de la parcela y se inició la aplicación de la lluvia sobre la misma, cada evento de simulación de las parcelas tuvo una duración de 40 minutos. La alimentación del flujo de agua al simulador provenía por gravedad de un tonel de 450 litros, adaptado para tal propósito mediante una ponybomba de 12 volts.

Estimación de la Tasa de Escurrimiento

El volumen de escurrimiento se determinó en periodos de tiempo a los 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 y 40 minutos. La tasa de escurrimiento (cm/hr) fue calculada a partir del volumen de escurrimiento colectado, de la siguiente forma:

$$\text{Tasa de Escurrimiento} = \frac{\text{Volumen de Escurrimiento}}{\text{Area de la Parcela (cm}^2\text{)}} \frac{12}{1 \text{ hr}}$$

Estimación de Infiltrabilidad

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

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

Estimación de las características de suelo

Contenido de Humedad y Densidad Aparente. Primeramente antes de iniciar la prueba de la simulación, en la proximidad de las parcelas se colectó una muestra de suelo por medio de la extracción directa con las manos en los primeros 10 cm de profundidad, la cual fue pesada y posteriormente secada a la estufa a una temperatura de 65° C hasta que su peso fue constante. Por medio de esta información se pudo determinar el contenido de humedad del suelo (%) por el método gravimétrico y la densidad aparente (g/cm³) por el método de la parafina.

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

$$\text{Densidad Aparente} = \frac{\text{Masa de Sólidos (gr.)}}{\text{Volumen Total (cm}^3\text{)}} = \text{gr/cm}^3$$

Así mismo antes de cada simulación de lluvia se determinó la temperatura del suelo y el agua, por medio de un termómetro, los cuales se registraron en °F, para posteriormente transformarse a °C.

Pendiente. La pendiente fue determinada por medio de un clisímetro y se expresó por ciento, pero fue transformada a grados.

Textura y Materia Orgánica. A la finalización de cada prueba de simulación, se colectó una muestra de suelo de cada parcela en el horizonte 0-15 cm, la cual se llevó a laboratorio para su debido análisis; la textura se determinó por medio del método del hidrómetro de Bouyoucos y el contenido de materia orgánica por el método de Walkley y Black.

Estimación de las características de vegetación

Para poder determinar este factor se tuvo que delimitar sitios circulares con un radio de 17.84 (1,000 m²) a partir del centro de la parcela donde fue la simulación de la lluvia.

Estimación de la Cubierta Vegetal. La determinación de este factor fue por medio del método de puntos de contacto (Pieper, 1973) el cual fue 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 otros dos de 17 metros y los puntos de contacto de 25 centímetros, para poder ajustar un total de 200 registros de cobertura en las líneas; la cobertura del suelo se determinó para gramíneas, herbáceas, arbustos, hojarasca, piedras y grava, material parental y suelo desnudo.

Estimación de la Fitomasa Aérea. La cantidad de material vegetal se estimó en las parcelas experimentales, colectándose el material de gramíneas, herbáceas y arbustivo por el método de cosecha (Pieper, 1973) y la hojarasca manualmente, posteriormente se llevaron al laboratorio las cuales se secaron en una estufa a una temperatura de 65° C hasta obtener 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 por medio de una cinta diamétrica y posteriormente calcular su área basal.

Densidad de Renuevos y Arbustivas. La densidad se realizó en los sitios, estimándose la densidad de renuevos para las especies de *Pinus* spp., considerándose como renuevos aquel individuo menor de diez centímetros de diámetro y/o 2.5 metros de altura. La densidad de arbustos se registró para las especies de encino (*Quercus* spp.), táscate (*Juníperos* sp.).

Análisis Estadístico

Diseño Estadístico. Para poder cumplir con los objetivos planteados, los datos de infiltrabilidad para cada periodo de cinco minutos fueron analizados en un Diseño Completamente al azar.

Prueba de Medias. Después del análisis de varianza se realizó la prueba de separación de medias por el método de Tukey.

Análisis de Correlación y Regresión Múltiple. Para poder determinar los factores de suelo, vegetación y fisiográficos que influyen en mayor

grado en la infiltrabilidad del suelo en cada periodo de tiempo se procedió de la siguiente forma:

Las variables obtenidas fueron transformados a valores estándares (Steel y Torrie, 1985) para poder asumir una distribución normal.

Para evitar la dependencia lineal que exhiben algunas variables, se realizó una correlación parcial entre variables y se desecharon las que no mostraron un coeficiente de correlación al 0.30.

Y por último se realizo un análisis de regresión múltiple usando el método "stepwise" para encontrar las variables más relacionadas con la infiltrabilidad con una probabilidad del cinco por ciento; el método se describe a continuación:

$$Y = a + b_1X_1 + b_2X_2 \dots b_kX_k + \epsilon$$

Donde:

Y= Variable dependiente (infiltrabilidad del suelo) para cada periodo de tiempo.

a= Es el intercepto.

$B_{1,2,k}$ = Coeficiente lineal del modelo.

$X_{1,2,k}$ = Variables independientes (características del suelo, vegetación y fisiográficas).

ϵ = Error aleatorio debido al experimento.

RESUMEN

El uso del suelo tiene un impacto en las zonas templadas cuando se tiene una falta de planeación de uso y manejo de los recursos naturales, afectando los procesos del ecosistema y su sustentabilidad. Los procesos hidrológicos de estas regiones son los más alterados con el manejo y aprovechamiento de los recursos forestales, pecuarios agrícolas o recreativos. Los procesos más afectados por las actividades del uso del suelo son la presencia de escurrimientos superficiales, menor entrada de agua al suelo para la recarga de acuíferos o mayor evaporación del suelo, flujos de agua permanentes en los cauces, inundaciones y azolvamientos de cuerpos de agua. Los objetivos del presente estudio fueron determinar la tendencia de la infiltrabilidad del suelo y analizar los factores de suelo y vegetación que la influyen en el perfil fisiográfico de las cuencas hidrológicas Paso de Piedra y Las Bayas, Durango.

Las cuencas hidrológicas se encuentran en la región forestal de la Sierra Madre Occidental, al sur del Estado de Durango. Cuentan con una superficie de 6,050 y 5,846 has, ambas cuencas se ubican en los límites de las cuencas del Río Chico y Río Las Bayas, respectivamente; los principales afluentes en área de Paso de Piedra son los arroyos Paso de Piedra, La Cocona, El Refugio, Los Adrianes, Gándara, Charcos de Paez y Palos Prietos, y en Las Bayas son los arroyos El Pescador, Los Alisos, Santa Susana, y Abrevaderos; ambas áreas forman parte de la región hidrológica Número 11, de los Ríos Presidio – San Pedro. La vegetación dominante son pino y encino, y áreas de pastizal intermontano con especies nativas e inducidas.

En las cuencas hidrológicas se han realizado aprovechamientos forestales aplicando el Método de Desarrollo Silvícola, en Paso de Piedra su actividad principal es la ganadería extensiva. Para estimar la infiltrabilidad del suelo se utilizó un simulador de lluvia portátil de boquilla simple.

La actividad principal en el área de Paso de Piedra es la ganadería, se han realizado aprovechamientos forestales en 1987 y 1989, y en Las Bayas son realizados aprovechamientos forestales y aumenta una ganadería extensiva. En cada área fueron seleccionados seis perfiles fisiográficos de los principales afluentes del cauce principal en cada cuenca. Se utilizó un simulador de lluvia portátil de boquilla simple, aplicando una intensidad de 16.5 cm/hr y determinar la tendencia de la infiltrabilidad del suelo por periodos de tiempo de cinco minutos hasta un tiempo de 40 minutos; esta fue estimada por la diferencia de la tasa de escurrimiento recolectada y la intensidad aplicada. Las características del suelo y del terreno estimadas fueron contenido de humedad inicial, densidad aparente, textura, materia orgánica, pendiente y los metros sobre el nivel del mar; las características de la cubierta vegetal fueron la cobertura de gramíneas, herbáceas, arbustivas, hojarasca, pedregosidad, rocas y suelo desnudo, y de la fitomasa la cantidad de hojarasca, gramíneas, herbáceas y arbustivas; las características silvícolas fueron la densidad, diámetro y área basal de especies de pino y las densidades de renuevo de pino y especies de arbóreas y arbustivas encinos y táscate. Para analizar los datos se utilizó un diseño completamente al azar con arreglo de factores por posición alta, media y baja del perfil fisiográfico en cada una de las cuencas hidrológicas; mediante las técnicas de correlación y regresión múltiple se determinaron las variables de suelo y vegetación que mayor influyen en la tendencia de la infiltrabilidad.

Los resultados indican que en las cuencas hidrológicas no existen diferencias significativas entre las posiciones alta, media y baja, de los perfiles fisiográficos en los afluentes. Las variables más relacionadas a la infiltrabilidad del suelo en la cuenca Paso de Piedra fueron la cobertura de arbustos, la pendiente, las diferencias en relieve de los perfiles fisiográficos todos ellos de manera negativa y la presencia de renuevo positivamente, mientras en la cuenca Las Bayas fueron la cobertura de hojarasca, densidad de encinos y el contenido de humedad de manera positiva y la pendiente y el juníperos de manera negativa

LITERATURA CITADA

- Benitez, A. 1972. Captación de aguas subterráneas. Editorial Dossat, 2a Edición. Madrid, España. 145 p.
- 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.
- Comisión de Estudios del Territorio Nacional (CETENAL). 1972 a. 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). 1972b. Guacamayita. Carta Topográfica. 1: 50000. F13-B31. Secretaría de la Presidencia. México D. F., México.
- Comisión de Estudios del Territorio Nacional (CETENAL). 1972c. Guacamayita. Carta Uso del Suelo. 1: 50000. F13-B31. 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.
- Comisión Nacional de Agua (CONAGUA), 1994. Manual para evaluar Recursos hidráulicos subterráneos. Impreso por hidrolegro, S.C.México, D.F. 243 p.
- Custodio, E. y Ramón, LL. M. 1976. Hidrología subterránea. Ediciones Omega. Primera Edición. Tomo I. Barcelona España. 1136 p.
- De Luna, R. M., 1989. Influencia de las edades de la reforestación Zapalinamé sobre la infiltración y la producción de sedimentos. Tesis Licenciatura. UAAAN. Saltillo, Coah., México. 64 p.

- Dueñez, A. J. 1993. Impacto del Uso Múltiple sobre la Infiltrabilidad y la erosión en la cuenca Paso de Piedra, Durango. UAAAN. Tesis Maestría. Saltillo, Coah. México. 94 p.
- Dunne, T. and Luna, B. L. 1978. Water in environmental planning. Printed in the United of America. W.H. Freeman and Company. New York. 818 p.
- FAO, 1967. La erosión del suelo por el agua. Impreso en Italia. Colección FAO: Fomento de tierras y aguas. FAO: Cuadernos de Fomento agropecuario. Roma. 207 p.
- García, E. 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de Geografía. UNAM. México, D.F. México 246 p.
- Gutiérrez C. J. y Rivera F. M. 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. y De Luna, R. (1988). Infiltración y producción de sedimentos en tres unidades de suelo ocupadas por un pastizal mediano abierto. Dpto. Recursos Naturales Renovables. UAAAN. pp 23-26.
- Gutiérrez, C. J. y De Luna, R. 1989. Infiltración y producción de sedimentos en una área reforestada con *Pinus halapensis* Mill. Revista científica UAAAN. Vol. 5 Num. 2. 178 p.
- Gutiérrez, C. J. y Dueñez, A. J. 1990. Efecto de la intercepción edad de la reforestación, distancia al árbol sobre la infiltrabilidad del suelo (Primer simposio nacional sobre el agua en el manejo Forestal); Resúmenes. U.A.CH. División de ciencias Forestales, Chapingo México. 26 p.
- Gutiérrez, C. J. y Salazar, C. M. 1986. Impacto de la reforestación en la sierra zapaliname sobre las tasas de infiltración. Agraria. Revista Científica UAAAN. Vol.2. Num.2. Julio-Diciembre. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. pp 286-302.
- Hillel, D. 1971. Soil and water. Physical principles and processes. Academic Press, Inc. Orlando, Florida 32887 United Kingdom Edition Published by Academic Press, Inc. (London) LTD. pp 131-153.

- Hillel, D. 1982. Introduction to soil Physical. ISBN 0-12-348520 7. Harcourt Brace Jovanovich, Publishers. pp 211-217.
- Horton, R. E. 1933. The role of infiltration in the hydrology cycle. Amer. Geoph. Unicon Trans. 14:446-460.
- Hewlett, J. D. 1982. Principles of Forest Hydrology. The University of Georgia Press. Athens. Lybrary of Congress Cataloging in Publication Data. USA. 178 p.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 1990. Guías para la interpretación de la cartografía (Hidrología). Segunda reimpresión. Abril 1990. Aguascalientes, Ags. 31 p.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 1989. El Salto. Carta Hidrológica de aguas Superficiales. 1: 250000. F13-2. Secretaria de Programación y Presupuesto. México D. F., México.
- Kramer, P. J. 1974. Relaciones Hídricas de Suelo y Plantas. EDUTEX, S:A: México, D:F: 533 p.
- Pieper, R. D. 1973. Measurement techniques for herbaceous and shrubby Vegetation. New México State University Press. Las Cruces, N.M. 148 p.
- Satterlund, D. R. And W. A. Paul. 1992. Library of Congress Cataloging-in-Publication Data. Published simultaneously in Canada. 436 p.
- Secretaria de Educación Publica. (SEP) 1978. Riego y drenaje. Dirección General de Educación Tecnológica Agropecuaria. DEGETA/SA/102. México, D.F. 92 p.
- Spurr, S. H. y Barnes, B. V. 1982. Ecología Forestal. AGT. Editor, S.A. Impresora Azteca. México, D.F. pp 251-274.
- Steel, D. R. y J. H. Torrie. 1985 Bioestadística, principios y Procedimientos. 2a ed. Editorial McGraw-Hill, tinoamericana S.A. Bogotá, Colombia. 622 p.
- Trujillo, R. R. 1986. Estudio dasonómico de manejo integral de Santa Barbara. UAF No 8 Regocijo. Durango, México. Inédito.
- Wagner, H. W. y Lenz, H. (1989). El bosque y la Conservación del Suelo. Editorial Purrua. Cuarta Edición. México, D. F. 189 p.

Wilcox, B. P., M. K. Wood and J. M. Tromble. 1986. Factors influencing infiltrability of semiarid muntain slopes. *J. Range Manage.* 41: 197-206.

Wisler, C. O. and Brater, E. F. 1959. *Hydrology* Library of Congress Catalog Card Number: 59-1498L. Second Edition. University of Michigan. Printed in the United States of America. 408 p.

Cuadro 2. Valores de “ F “ para la cuenca " Paso de Piedra ", Durango.

Tiempo (minutos)	g.l. Trat.	C.M. Trat.	g.l. Error	C.M. Error	F	Nivel de Probabilidad	Ft 0.01 0.05
5	2	16.65	15	97.87	1.28 ns	0.31	6.36 3.68
10	2	32.45	15	366.86	0.66 ns	0.53	
15	2	19.98	15	474.81	0.32 ns	0.73	
20	2	22.45	15	471.26	0.36 ns	0.71	
25	2	17.28	15	490.65	0.26 ns	0.77	
30	2	16.04	15	473.64	0.25 ns	0.78	
35	2	19.44	15	475.57	0.31 ns	0.74	
40	2	19.71	15	487.04	0.30 ns	0.74	

Cuadro 3. Valores de las características físicas y químicas del suelo y del terreno estimadas para los sitios de estudio de la cuenca “Paso de Piedra”, Durango

Afluente / Posición Fisiográfica	Características de Suelo												
	H	TS	TA	Pr	DA	Textura %				M. O.	Terreno		
						AR	LI	AN	CT		%	Pd	M
A	1	29.28	21.21	24.44	0.65	1.17	38.8	18	43.2	MAR	0.58	4.5	2250
	2	18.23	23.88	25.55	0.49	1.27	18	20	62	MA	0.66	2.25	2247
	3	18.05	17.77	25.55	0.44	1.18	18	30	52	M	0.99	3.6	2240
B1	1	16.24	18.88	17.77	0.18	1.07	20.8	30	49.2	M	0.39	8.1	2335
	2	13.86	31.11	18.88	0.08	1.22	14.8	30	55.2	MA	1.63	6.3	2320
	3	25.22	17.77	17.77	0.22	1.15	17.2	32	50.8	M	1.8	10.35	2310
B2	1	23.31	22.22	23.33	0.12	1.31	23.2	16	60.8	MAA	1.37	5.4	2390
	2	16.17	22.77	23.88	0.15	1.26	22	12	66	MAA	1.12	5.85	2385
	3	14.07	19.44	24.44	0.25	1.22	17.2	26	56.8	MA	1.5	5.85	2378
C	1	41.91	20.55	17.22	0.25	1.61	15.2	22	62.8	MA	2.68	3.15	2350
	2	15.50	19.44	17.22	0.38	1.23	24	34	42	M	1.84	2.7	2340
	3	16.50	21.66	20	0.10	1.16	37.2	38	24.8	MAR	1.87	1.8	2330
D	1	10.15	23.33	22.22	0.09	1.35	16	38	46	M	3.96	3.6	2430
	2	12.33	18.88	21.11	0.25	1.25	20.8	34	45.2	M	1.24	4.5	2425
	3	8.23	28.88	23.88	0.05	1.08	21.2	32	46.8	M	3.36	7.65	2418
B3	1	6.46	28.88	17.77	0.09	1.14	17.2	34	48.8	M	2.12	0.9	2335
	2	12.52	23.88	21.11	0.07	0.98	20.8	52	27.2	ML	3.26	1.13	2333
	3	8.82	28.88	17.77	0.05	1.22	25.2	44	30.8	M	3.24	2.7	2328

A = Paso de Piedra, B = Palos Prietos, C = Gándara, D = El Refugio, 1 = parte alta, 2 = media, 3 = baja, H = humedad del suelo, TS = temperatura del suelo, TA = temperatura del agua, Pr = profundidad, DA = densidad aparente, AR = arcilla, LI = limo, AN = arena, CT = clase textural, M = migajón, ML = migajón limoso, MAR = migajón arcilloso, MA = migajón arenoso, MAA = migajón acriollaremos, M. O. = materia orgánica, Pd = pendiente (⁰), M = metros sobre el nivel del mar.

Cuadro 4. Valores de las características del perfil fisiográfico y del suelo en los sitios de estudio para la cuenca “ Paso de Piedra “, Durango.

Afluente / Posición Fisiográfica	Características de la cubierta del suelo												
	Cobertura del Suelo (%)							Peso seco fitomasa (gr.)					
	G	H	A	HO	P	R	S	HO	G	H	A	T	
A	1	36.25	33.75	0	6.25	1.25	0	22.5	270.1	20.9	38.8	0	329.8
	2	45	16.25	0	6.25	0	0	32.5	129.8	33.1	20.5	0	183.4
	3	22.5	48.75	0	0	0	8.75	20	0	48.1	78.6	0	126.7
B1	1	21.25	7.5	0	58.75	0	7.5	5	146.4	41.4	17.5	19.8	225.1
	2	36.25	21.25	0	21.25	0	0	21.25	57.7	26.7	15.8	46.4	146.6
	3	31.25	11.25	5	42.5	0	0	10	553.1	22.9	19.5	35.5	631
B2	1	38.75	26.25	0	32.5	0	0	2.5	352.5	49.9	29.2	0	431.6
	2	47.5	13.75	0	32.5	0	0	6.25	110.2	49.5	30.7	0	190.4
	3	36.25	13.75	1.25	45	0	0	3.75	284.9	47.4	26.1	19.8	378.2
C	1	50	17.5	0	25	0	0	7.5	86.1	52.8	28.5	40.8	208.2
	2	40	25	5	30	0	0	0	187.6	36.2	22.3	25.3	271.4
	3	58.75	22.5	0	5	0	0	13.75	21.4	33.7	29.5	0	84.6
D	1	11.25	20	3.75	50	0	12.5	2.5	207.4	27.3	46.4	0	365.7
	2	31.25	16.25	13.75	38.75	0	0	0	334.5	30.1	18.1	26.3	409
	3	26.25	26.25	0	10	0	1.25	36.25	109.1	26.3	18.3	17.9	171.6
B3	1	30	26.25	0	42.5	0	0	1.25	306.1	25.7	25.3	0	357.1
	2	48.75	16.25	0	25	0	0	10	287.1	23.9	14.7	0	325.7
	3	18.75	7.5	0	48.75	0	21.25	3.75	325.6	29.5	6.5	0	361.6

A = Paso de Piedra, B = Palos prietos, C = Gándara, D = El Refugio, 1 = parte alta, 2 = media, 3 = baja, G = gramíneas, H = herbáceas, A = arbustivas, HO = hojarasca, P = pedregosidad, R = rocas, S = suelo desnudo, T = total de material vegetal.

Cuadro 5. Valores de las variables silvícolas determinadas para los perfiles fisiográficos en la cuenca “ Paso de Piedra “, Durango.

Afluente / Posición Fisiográfica		DP	DM	AB	DR	Q	J	X
		(ind/ha)	(m)	(m ² /ha)	(ind/ha)	(ind/ha)		
A	1	30	0.42	4.496	0	0	0	0
	2	40	0.24	3.506	240	0	0	0
	3	30	0.17	0.682	10	10	0	5
B1	1	170	0.22	6.261	0	190	0	95
	2	160	0.23	9.007	20	10	0	5
	3	200	0.24	11.978	80	40	40	40
B2	1	110	0.44	17.491	20	0	0	0
	2	80	0.35	8.299	0	20	0	10
	3	70	0.35	6.086	250	160	0	80
C	1	90	0.18	2.255	180	140	0	70
	2	70	0.36	8.341	170	160	20	90
	3	30	0.62	9.063	10	10	0	5
D	1	220	0.23	10.321	30	150	0	75
	2	350	0.25	21.163	10	10	40	25
	3	320	0.21	12.410	90	170	10	90
B3	1	310	0.21	11.256	110	40	20	30
	2	330	0.22	13.929	110	30	10	20
	3	330	0.23	17.104	90	110	0	55

A = Paso de Piedra, B = Palos Prietos, C = Gándara, D = El Refugio, 1 = parte alta, 2 = media, 3 = baja, DP = densidad de pinos (*Pinus spp*), DM = diámetro medio, AB = área basal de pinos, DR = densidad de renuevos de pinos, Q = encinos (*Quercus spp*), J = táscate (*Juníperos sp*).

Cuadro 6. Valores del coeficiente de determinación (r^2) del modelo de regresión múltiple por el método "stepwise" de las variables que influyen la infiltrabilidad del suelo por periodo de tiempo (minutos) por el método de regresión múltiple en la cuenca Paso de Piedra, Durango.

Variables	Tiempo (min.)							
	5	10	15	20	25	30	35	40
Cobertura de Arbustivas ⁻	0.414 ¹							
Pendiente ⁻	0.704 ²					0.454 ²	0.452 ²	
MSNM ⁻		0.469	0.409	0.360	0.379	0.317 ¹	0.307 ¹	0.310 ¹
CRRP ⁺								0.542 ²

MSNM = Metros Sobre el Nivel del Mar.

CRRP = Características del Rodal; Renuevo de Pino.

* Los números en subíndice indican el orden de la variable incluida en el modelo.

** Cuando son incluidas dos o más variables el valor del coeficiente de determinación se incrementa y su diferencia es el incremento que se obtuvo al ser incluida en el modelo.

Cuadro 7. Valores de “ F “ para la cuenca " Las Bayas ", Durango.

Tiempo (minutos)	g.l. Trat.	C.M. Trat.	g.l. Error	C.M. Error	F	Nivel de Probabilidad	Ft	
							0.01	0.05
5	2	0.09	15	16.91	0.04 ns	0.96	6.36	3.68
10	2	0.66	15	16.34	0.30 ns	0.74		
15	2	0.56	15	16.44	0.25 ns	0.78		
20	2	1.44	15	15.56	0.69 ns	0.52		
25	2	1.79	15	15.21	0.88 ns	0.43		
30	2	2.90	15	14.10	1.54 ns	0.25		
35	2	2.76	15	14.24	1.45 ns	0.26		
40	2	3.52	15	13.48	1.95 ns	0.18		

Cuadro 8. Valores de las características del suelo y del terreno estimadas para los sitios de estudio de la cuenca “ Las Bayas “, Durango.

Afluente / Posición Fisiográfica	Características de Suelo												
	H	TS	TA	Pr	DA	Textura %				M. O.	Terreno		
	(%)	(°C)	(°C)	(m)	(g/cm ³)	AR	LI	AN	CT	%	Pd	M	
A1	1	43.92	18.88	14.44	0.08	1.22	26	32	42	M	3.76	2.25	2720
	2	38.13	20	14.44	0.05	1.43	20.8	30	49.2	M	2.61	5.4	2718
	3	27.80	15.15	14.44	0.37	0.8	15.2	24	60.8	MA	4.61	5.4	2714
A2	1	32.90	17.77	14.44	0.28	1.21	16.8	28	55.2	MA	5.68	3.15	2730
	2	33.19	18.88	15	0.28	1.02	14	26	60	MA	6.13	3.15	2728
	3	24.66	14.44	15	0.25	1.19	30.8	26	43.2	MAR	3.4	5.58	2724
A3	1	81.80	15.15	16.11	0.25	0.7	10	32	58	MA	6.73	2.7	2690
	2	33.21	16.11	15.15	0.30	1.26	26.8	33	40.2	M	2.35	5.4	2688
	3	29.82	18.88	14.44	0.34	1.13	33.2	34	32.8	MAR	4.55	2.7	2660
B1	1	48.34	16.66	13.33	0.12	1.11	10.8	34	55.2	MA	6.01	1.8	2680
	2	46.22	16.66	13.33	0.37	0.87	22	32	46	M	6.33	0.9	2679
	3	27.58	17.77	15	0.55	1.27	20.8	36	43.2	M	3.72	0.9	2678
B2	1	22.37	13.88	11.11	0.22	1.2	25.2	36	38.8	M	0.93	2.7	2850
	2	18.13	16.11	12.77	0.18	1.14	30	26	44	MAR	1.65	0.9	2848
	3	29.34	18.88	14.44	0.28	1.25	22	22	56	MAA	3.63	0.9	2846
B3	1	13.67	15	13.33	0.21	1.14	15.2	24	60.8	MA	2.24	2.7	2870
	2	24.27	16.66	12.77	0.33	1.18	34	28	38	MAR	1.45	1.8	2868
	3	37.10	15	16.11	0.32	1.18	26.8	33	40.2	M	3.92	3.6	2865

A = El Pescado, B = Abrevadero, 1 = parte alta, 2 = media, 3 = baja, H= humedad del suelo, TS = temperatura del suelo, TA = temperatura del agua, Pr = profundidad, DA = densidad aparente, AR = arcilla, LI = limo, AN = arena, CT = clase textural, M = migajón, ML = migajón limoso, MAR = migajón arcilloso, MA = migajón arenoso, MAA = migajón acilloarenoso, M. O. = materia orgánica, Pd = pendiente (⁰), M = metros sobre el nivel del mar.

Cuadro 9. Valores de la cubierta del suelo en los sitios de estudio para la cuenca “ Las Bayas “, Durango.

Afluente / Posición Fisiográfica		Características de la Cubierta del suelo											
		Cobertura del Suelo (%)							Peso seco fitomasa (gr.)				
		G	H	A	HO	P	R	S	HO	G	H	A	T
A1	1	22.5	36.25	0	33.75	0	0	7.5	44.1	19.9	20.5	0	84.5
	2	30	40	0	30	0	0	0	0	15.4	33.2	0	48.6
	3	16.25	46.25	0	30	0	0	7.5	0	17.6	24.5	0	42.5
A2	1	27.5	18.75	0	51.25	0	2.5	0	562.9	14.6	17.4	0	594.9
	2	8.75	23.75	0	63.75	0	0.38	0	486.8	15.9	17.5	25.1	545.3
	3	8.75	31.25	0	60	0	0	0	177.8	14.8	21.2	0	213.8
A3	1	10	25	0	57.5	0	7.5	0	403.7	0	22.4	35.7	461.8
	2	8.75	30	0	51.25	0	0	10	0	0	20.6	0	20.6
	3	41.25	33.75	0	11.25	0	0	13.75	0	14.5	20.4	0	34.9
B1	1	13.75	45	0	41.25	0	0	0	234.1	0	43.9	0	278
	2	8.75	56.25	0	0	21.25	0	13.75	154.7	0	18.6	0	173.3
	3	62.5	10	0	17.5	0	0	10	0	17.4	15.1	0	32.5
B2	1	47.5	12.5	0	40	0	0	0	194.6	100.2	31.2	34.8	360.8
	2	41.25	0	38.75	2.5	10	0	7.5	194.3	25.1	43.7	0	263.1
	3	37.5	16.25	0	0	46.25	0	0	120.4	23.1	0	0	143.5
B3	1	28.75	7.5	6.25	57.5	0	0	0	343.2	34.2	17.9	0	295.3
	2	60	23.75	0	16.25	0	0	0	116.3	23.1	20.0	0	159.4
	3	52.5	42.5	5	0	0	0	0	147.1	24.4	21.7	0	193.2

A = El Pescado, B = Abrevadero, 1 = parte alta, 2 = media, 3 = baja, Pd = pendiente (⁰), M = metros sobre el nivel del mar, G = gramíneas, H =herbáceas, A = arbustivas, HO = hojarasca, P = pedregosidad, R = rocas, S = suelo desnudo, T = total de material vegetal.

Cuadro 10. Valores de las variables silvícolas determinadas para los perfiles Fisiográficos en la cuenca “ Las Bayas “, Durango.

Afluente / Posición Fisiográfica		DP	DM	AB	DR	Q	J	X
		(ind/ha)	(m)	(m ² /ha)	(ind/ha)	(ind/ha)		
A1	1	100	0.20	4.089	100	120	130	125
	2	100	0.30	9.394	170	130	200	165
	3	170	0.18	5.147	80	140	70	105
A2	1	160	0.17	4.245	50	430	80	255
	2	160	0.15	9.312	120	620	140	380
	3	110	0.19	5.268	200	840	140	490
A3	1	240	0.19	7.679	170	240	20	130
	2	360	0.26	3.002	290	270	150	210
	3	180	0.19	5.613	390	0	230	115
B1	1	460	0.18	13.258	120	10	280	145
	2	400	0.21	17.369	1050	0	280	140
	3	230	0.23	10.152	420	0	120	60
B2	1	210	0.26	15.662	40	240	70	155
	2	40	0.39	5.325	10	10	690	350
	3	60	0.22	2.485	0	40	340	190
B3	1	230	0.22	10.646	20	220	380	300
	2	70	0.61	22.288	60	70	450	260
	3	60	0.51	12.23	0	0	430	215

A = El Pescado, B = Abrevadero, 1 = parte alta, 2 = media, 3 = baja, DP = densidad de pinos (*Pinus spp*), DM = diámetro medio, AB = área basal de pinos, DR = densidad de renuevos de pinos, Q = encinos (*Quercus spp*), J = táscate (*Juníperos sp*).

Cuadro 11. Valores del coeficiente de determinación (r^2) del modelo de regresión múltiple por el método "stepwise" de las variables que influyen la infiltrabilidad del suelo por periodo de tiempo (minutos) por el método de regresión múltiple en la cuenca Las Bayas, Durango.

Variable	Tiempo (minutos)							
	5	10	15	20	25	30	35	40
COHO ⁺	0.2							
CRJU ⁻		0.340 ¹		0.435 ¹	0.608 ²	0.612 ²		
CRDQ ⁺		0.471 ²	0.388 ¹	0.601 ²	0.448 ¹	0.456 ¹	0.459 ¹	0.462 ¹
% HU ⁺			0.543 ²				0.609 ²	0.615 ²
PEN ⁺							0.703 ³	0.702 ³

COHO = Cobertura de Hojarasca.

CRJU = Característica del Rodal; Densidad de Juníperus.

CRDQ = Características del Rodal; Densidad de Encinos.

% HU = Por ciento de Humedad del Suelo.

PEN = Pendiente en Grados.

* Los números en subíndice indican el orden la variable incluida en el modelo.

** Cuando son incluidas dos o más variables el valor del coeficiente de determinación se incrementa y su diferencia es el incremento que se obtuvo al ser incluida en el modelo.

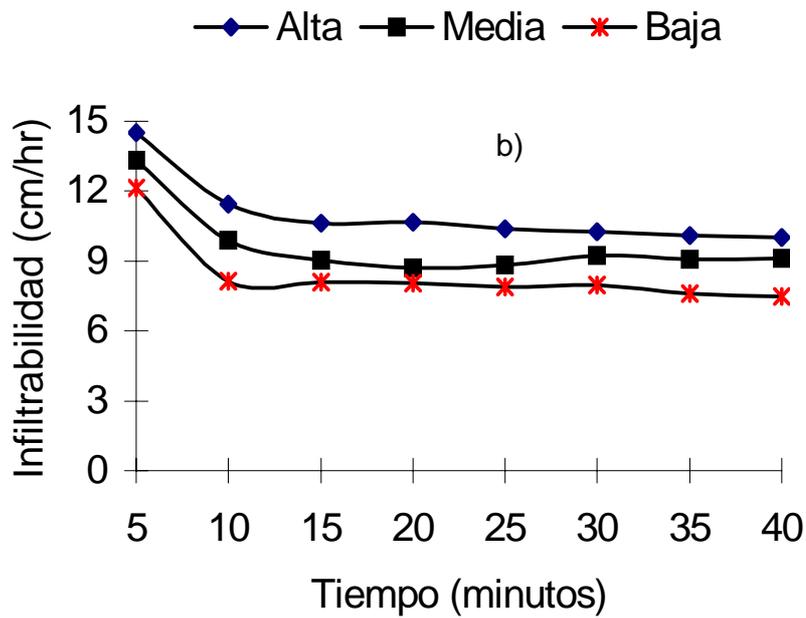
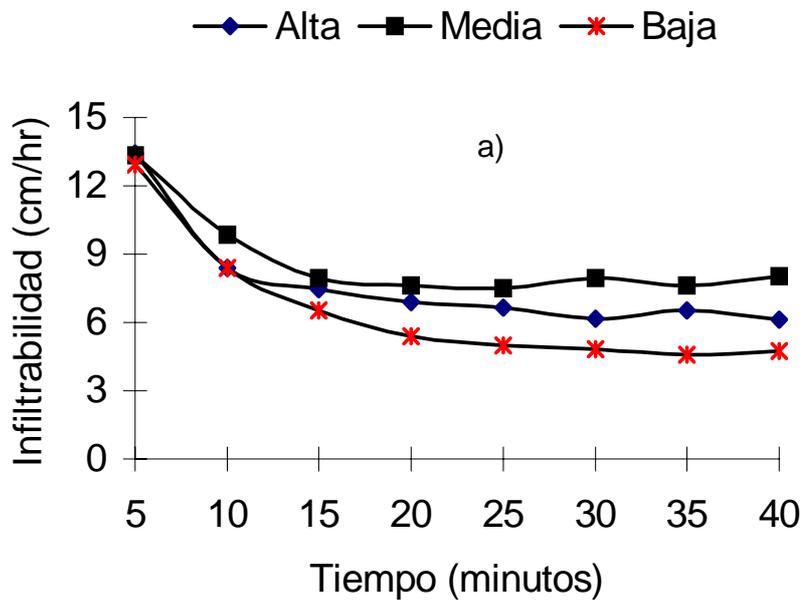


Figura 1. Infiltrabilidad del suelo (cm/hr) en las cuencas hidrológicas Paso de Piedra (a) y Las Bayas (b) en los perfiles fisiográficos de los afluentes del cauce principal.