

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN**  
**FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES**  
**SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO**



**MEDICIÓN Y ESTIMACIÓN DE LOS COMPONENTES DE LA**  
**INTERCEPCIÓN EN CUATRO COMUNIDADES REPRESENTATIVAS DEL**  
**NORDESTE DE MÉXICO**

**TESIS DE MAESTRÍA**

**Como requisito parcial para obtener el Grado de**  
**MAESTRÍA EN CIENCIAS FORESTALES**

**PRESENTA:**

**ING. MARTÍN FRANCISCO CHARLES CORREA**

Linares, N. L., México.

Agosto de 1998

TM  
Z599  
FCF  
1998  
Ch3



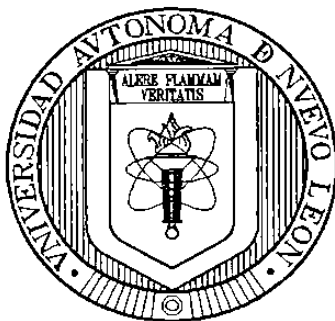


1020123089

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN**

**FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES**

**SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO**



**MEDICIÓN Y ESTIMACIÓN DE LOS COMPONENTES DE LA  
INTERCEPCIÓN EN CUATRO COMUNIDADES REPRESENTATIVAS DEL  
NORDESTE DE MÉXICO**

**TESIS DE MAESTRÍA**

**Como requisito parcial para obtener el Grado de  
MAESTRÍA EN CIENCIAS FORESTALES**

**PRESENTA:**

**ING. MARTÍN FRANCISCO CHARLES CORREA**

**Linares, N. L., México.**

**Agosto de 1998**

TM  
ZS99  
FCF  
1998  
h3

0119-95360



FONDO  
TESIS

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN**  
**FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES**  
**SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO**

**MEDICIÓN Y ESTIMACIÓN DE LOS COMPONENTES DE LA  
INTERCEPCIÓN EN CUATRO COMUNIDADES REPRESENTATIVAS DEL  
NORDESTE DE MÉXICO**

**TESIS DE MAESTRÍA**

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE  
MAESTRÍA EN CIENCIAS FORESTALES**

**PRESENTA:**

**ING. MARTÍN FRANCISCO CHARLES CORREA**

**COMISIÓN DE TESIS**




---

**DR JOSÉ DE JESÚS NÁVAR CHÁIDEZ**  
**PRESIDENTE**



---

**DR ANTONIO DOMÍNGUEZ CALLEROS**  
**SECRETARIO**



---

**M. C. MARISELA PANDO MORENO**  
**VOCAL**

---

**DR. FRANCISCO JAVIER HERNANDEZ**  
**ASESOR EXTERNO**

*“Cada vez que caigas, cada vez que te sientas vencido, cada vez que sientas que no puedes más. Mira en tu interior, mira esa luz interna, siente esa llama divina. Es tu fé, es tu voluntad, es tu amor. Alúmbrate, ilumínate, refúgiate en ella. Levántate, triunfa y sigue adelante. Recuerda que esa flama es DIOS, Él esta siempre contigo, en ti y en todas las cosas de la naturaleza. Recuerda cual afortunado eres, Él está en tu ser y tu ser en Él. NUNCA TE DES POR VENCIDO”.*  
M.F.CH.C.

*"El tiempo es el más bello diamante, solo hay que saber pulirlo bien para que pueda brillar intensamente"*

*“Todos luchan contra la ignorancia, son pocos los que logran obtener la sabiduría”*

*“Si puedes soñar y buscas realizar tu sueño, eres grande pues tienes la capacidad de creer en ti mismo.”*  
R.M.G.

## DEDICATORIA

A mi madre Esthela Correa Mancillas a quien debo lo que soy. Gracias por ser padre y madre a la vez. Por ser amiga y confidente. Por escuchar mis problemas y sueños. Por guiarnos con amor por el sendero de la vida. Por darnos esperanza y fé en la vida. Madre se que mereces mucho más de lo que yo te he dado, ya que tu amor no tiene precio y todo lo que yo puede hacer por ti siempre me parecerá poco, por eso todo logro y triunfo que tenga en esta vida siempre estará dedicado a tí. Este trabajo te lo dedico ya que sin tu apoyo y cariño jamás hubiera sido posible. **GRACIAS ETERNAMENTE MAMÁ.**

A mi padre Francisco Charles Casas (+) porque sé que estuvo conmigo en cada momento de mi vida y que desde donde se encuentra me apoyó en cada situación difícil.

A mis hermanos Luz María, Yadira Margarita y Luis Jesús por su cariño, comprensión y apoyo. Por ser más que hermanos, amigos.

A mi sobrino Leonardo Daniel, porque siempre conserve su alegría por vivir.

A **DIOS** por permitirme vivir, pero sobre todo por darme una familia y rodearme de amigos por los cuales vale la pena vivir y tener fé en la **VIDA.**



## AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por otorgar las facilidades para la obtención de beca durante el período de estudios de la Maestría.

Al personal docente y administrativo de la Facultad de Ciencias Forestales la agradezco por todas las facilidades y atenciones recibidas durante mi estancia y desarrollo académico en esta Facultad. Asimismo agradecer a la Universidad Autónoma de Nuevo León por lograr que existan centros de enseñanza de excelente nivel como lo es esta Facultad.

Agradezco de manera especial al cuerpo de Catedráticos de la Facultad de Ciencias Forestales por su loable labor de enseñanza y su dedicación para con nosotros los estudiantes.

Mi más sincero agradecimiento a mi asesor principal el Dr. José de Jesús Nívar Cháidez, por su gran profesionalismo y dedicación, por motivar en uno el deseo por la superación, por su paciencia y guía al supervisar el presente trabajo, por su amistad y apoyo dentro y fuera de la Facultad. **GRACIAS MIL.**

Al Dr. Antonio Domínguez Calleros, coasesor y revisor de esta tesis, por sus comentarios y sugerencias valiosas para el desarrollo y término del presente trabajo.

A la M. C. Marisela Pando Moreno por su valiosa participación en la revisión de tesis y dentro del comité de tesis.

Al Dr. Francisco Javier Hernandez asesor externo, gracias a sus comentarios para la realización y terminación del presente trabajo.

Al M. C. Luis Rocha Dominguez y al tec. Manuel Soto por su ayuda en la identificación de las especies de encinos del Bosque-escuela.

Gracias a todas aquellas personas por su ayuda y colaboración en la toma de datos, sin los cuales no hubiera sido posible el desarrollo de esta investigación. A los señores trabajadores Alfredo Ortega, Ascención García (Chon), Hector G. Medrano (Junior), Nicolás Hernández, Joel Bravo y Leonel Reséndiz. A la técnica Yadira Margarita Garza por la toma y captura de datos.

A la técnica Ma. Del Refugio Bravo por las facilidades prestadas en el Laboratorio de Suelos.

A todas las personas que me brindaron su amistad y apoyo sin los cuales hubiera sido muy difícil mi estancia en esta Facultad. Gracias a las siguientes personas por ofrecerme su incomparable amistad, Romelia, Claudia C., Claudia D., Santa, Juany, Rosy, Memo, Mazo, Sacra, Mayito, Jorge, a las ex chicas de suelos Mague y Vero y a todas aquellas personas que de momento olvido. A todos **GRACIAS, NUNCA LOS OLVIDARE.**

A mis entrañables amigos y compañeros de generación, por todos los momentos alegres y tristes que convivimos juntos. A mi gran amiga Maricruz (La Mary), a los importados Giovanni (Chico) y Edwards (El Boli), Jonás (El Gran cazador de osos), Poncho (El Político), Panchito (El Birdman), Martín (El Incógnito), Benedicto (El Bene/Bigotín), Marcos (El Table dancer) y.....J.J.(Aunque no me halla puesto en sus agradecimientos, nadamás por ser un galán lo menciono). **GRACIAS POR SER EXCELENTES AMIGOS Y COMPAÑEROS. SIEMPRE VIVIRAN EN MI RECUERDO.**

Un agradecimiento muy especial a dos grandes amigos y compañeros que ya no están entre nosotros pero cuyo recuerdo vivirá por siempre en nuestros corazones, Pedro Olvera (+) y Julián Uvalle (+). Gracias por su amistad, por enseñarme la alegría por vivir. Nunca los olvidaré, físicamente ya no se encuentran aquí, pero en nuestras almas estarán por siempre. **EL HOMBRE NO TRASCIENDE POR EL TIEMPO VIVIDO SINO POR SUS ACCIONES.**

# ÍNDICE

	página
LISTA DE CUADROS Y FIGURAS.....	i
RESUMEN.....	ii
ABSTRACT.....	iii
CAPÍTULO I.....	1
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO II.....	4
2.1 OBJETIVOS.....	4
2.2. HIPÓTESIS GENERAL.....	5
CAPÍTULO III.....	6
ANTECEDENTES.....	6
3.1. Intercepción.....	6
3.2. Intercepción en ecosistemas forestales .....	6
3.3. Intercepción en ecosistemas áridos y semiáridos.....	8
3.4. Precipitación bajo la cobertura arbustiva.....	9
3.5. Escurrimiento fustal.....	10
3.6. Modelos de intercepción de la lluvia para bosques.....	13
CAPÍTULO IV.....	17
4.1. MATERIALES Y MÉTODOS.....	17
A) MATORRAL ESPINOSO TAMAULIPECO.....	17
4.1.1. Localización.....	17
4.1.2. Clima.....	17
4.1.3. Suelos.....	19
4.1.4. Geología.....	19
4.1.5. Vegetación.....	19
B) BOSQUES DEL NORDESTE DE MÉXICO.....	21
4.1.6. Localización.....	21
4.1.7. Clima.....	23
4.1.8. Suelos.....	23
4.1.9. Vegetación.....	24
4.2. DISEÑO EXPERIMENTAL.....	28
A) MATORRAL ESPINOSO TAMAULIPECO.....	28
B) BOSQUES DEL NORDESTE DE MÉXICO.....	28
4.3. Procedimiento.....	29
4.4. Estadísticas.....	29
4.5. Modelo analítico de intercepción de Gash.....	30
4.6. Estimación de parámetros.....	31
4.7. Análisis de sensibilidad del modelo de Gash.....	31
CAPÍTULO V.....	32
5.1. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	32
A) MATORRAL ESPINOSO TAMAULIPECO.....	32
5.1.1. Precipitación total.....	32
5.1.2. Precipitación neta.....	32
5.1.3. Precipitación bajo la cobertura arbustiva.....	34
5.1.4. Escurrimiento fustal.....	34
5.1.5. Escurrimiento fustal por especies.....	37
5.1.6. Intercepción.....	42
5.1.7. Ajuste del Modelo analítico de Gash.....	44

5.1.8. Análisis de errores.....	47
B) BOSQUES DEL NORDESTE DE MÉXICO.....	49
5.1.9. Precipitación total.....	49
5.1.1.0. Precipitación neta.....	49
5.1.1.1. Precipitación bajo la cobertura arbustiva.....	49
5.1.1.2. Escurrimiento fustal.....	52
5.1.1.3. Escurrimiento fustal por especies.....	54
5.1.1.4. Intercepción.....	57
5.1.1.5. Ajuste del Modelo analítico de Gash.....	59
5.1.1.6. Análisis de sensibilidad.....	62
CAPÍTULO VI.....	64
6.1. DISCUSIÓN GENERAL.....	64
CAPÍTULO VII.....	73
7.1. CONCLUSIONES.....	73
BIBLIOGRAFÍA.....	74



## LISTA DE CUADROS Y FIGURAS

	Página
Cuadro 1. Características dasométricas de los arbustos de las parcelas experimentales.....	20
Cuadro 2. Comparación de la interceptión observada y modelada para dos series de datos en 6 parcelas del matorral espinoso tamaulipeco.....	45
Cuadro 3. Componentes de la interceptión total de la lluvia estimada por el modelo analítico de Gash para 27 lluvias para 6 parcelas del matorral tamaulipeco del nordeste de México.....	46
Cuadro 4. Sensibilidad del modelo analítico de la interceptión total de Gash en 6 parcelas del matorral espinoso tamaulipeco.....	48
Cuadro 5. Comparación de la interceptión observada y modelada para dos series de datos en 3 tipos de bosques en la Sierra Madre Oriental.....	60
Cuadro 6. Componentes de la interceptión total de la lluvia estimada por el modelo analítico de Gash para 29 lluvias en tres tipos de bosques en la Sierra Madre Oriental.....	62
Cuadro 7. Sensibilidad del modelo analítico de la interceptión total de Gash para 3 tipos de bosques de la Sierra Madre Oriental.....	63
Figura 1. Localización del área de estudio en el matorral espinoso Tamaulipeco.....	18
Figura 2. Localización del área de estudio de los rodales en la Sierra Madre Oriental.....	22
Figura 3. Relación entre la precipitación neta y la precipitación total para seis parcelas de una comunidad semi-árida del nordeste de México.....	33
Figura 4. Relación entre la precipitación bajo la cobertura arbustiva y la precipitación total para seis parcelas de una comunidad semi-árida del nordeste de México.....	35
Figura 5. Relación entre el escurrimiento fustal y la precipitación total para seis parcelas de una comunidad semi-árida del nordeste de México.....	36
Figura 6. Variación entre especies de arbustos de una comunidad semi-árida En relación al escurrimiento fustal y la precipitación total.....	38
Figura 7. Relación entre el escurrimiento fustal y la precipitación total Entre arbustos de 8 especies de arbustivas del matorral espinoso tamaulipeco.....	39
Figura 8. Relación entre la pendiente del escurrimiento fustal y 3 características dasométricas de los arbustos de <i>Acacia rigidula</i> .....	40
Figura 9. Relación entre la interceptión y la precipitación total para seis parcelas de una comunidad semi-árida del nordeste México.....	43

Figura 10. Relación entre la precipitación neta y la precipitación total en tres tipos de bosques del nordeste de México.....	50
Figura 11. Relación entre la precipitación bajo la cobertura arbustiva y la precipitación total en tres tipos de bosques del nordeste de México .....	51
Figura 12. Relación entre el escurrimiento fustal y la precipitación total en tres tipos de bosques del nordeste de México .....	53
Figura 13. Variación entre el escurrimiento fustal y la precipitación total entre árboles de <i>P. pseudostrobus</i> .....	55
Figura 14. Variación entre el escurrimiento fustal y la precipitación total entre árboles de tres especies de encinos de la Sierra Madre Oriental..	56
Figura 15. Relación entre la intercepción y la precipitación total para tres tipos de bosques del nordeste de México.....	58
Figura 16. Relación entre la precipitación bajo la cobertura arbustiva y la precipitación total entre los rodales de pino, encino, pino-encino y las seis parcelas del matorral espinoso tamaulipeco.....	66
Figura 17. Relación entre el escurrimiento fustal y la precipitación total entre los rodales de pino, encino y pino-encino y las seis parcelas del matorral espinoso tamaulipeco.....	67
Figura 18. Relación entre la intercepción y la precipitación total entre los rodales de pino, encino, pino-encino y las seis parcelas del matorral espinoso tamaulipeco.....	70

## RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivos: 1) estimar la intercepción de la lluvia, 2) explicar los parámetros de la intercepción en función de las características de la vegetación y 3) ajustar el modelo analítico de Gash a la intercepción observada en cuatro comunidades representativas del nordeste de México. La precipitación total, la lluvia bajo la cobertura arbustiva y la escorrentía fustal fueron medidos durante los periodos de abril de 1997 a marzo de 1998 para la comunidad del matorral espinoso tamaulipeco y de mayo de 1997 a abril de 1998 para tres bosques de coníferas de la Sierra Madre Oriental. La precipitación total se midió en un pluviómetro, la lluvia bajo la cobertura arbustiva en 4 canaletas por parcela y 12 canaletas por bosque de coníferas. La escorrentía fustal en macetas instaladas en 6 arbustos por parcela y 6 collares de manguera por bosques de coníferas. Los parámetros de la intercepción fueron probados por diferencias estadísticas por un análisis de covarianza donde la precipitación fue la covariable. La intercepción fue adicionalmente validada por el modelo de Gash. Para el ajuste de parámetros se utilizaron dos grupos de datos con 27 y 29 lluvias para el ajuste del modelo y el segundo con 8 y 10 lluvias para probar la bondad de ajuste del modelo en el matorral y bosque de coníferas del nordeste de la Sierra Madre Oriental, respectivamente. Los resultados mostraron para el matorral espinoso tamaulipeco que las parcelas tuvieron diferencias estadísticamente significativas a la intercepción y escorrentía fustal. La escorrentía fustal fue también estadísticamente diferente entre las especies muestreadas y entre cada especie. La intercepción y la escorrentía fustal se relacionaron estadísticamente con algunas características de la vegetación tales como la cobertura, el diámetro y la altura promedio. El modelo de Gash se ajustó adecuadamente a la intercepción observada para la mayoría de las parcelas estudiadas porque la diferencia entre la intercepción observada y modelada no fue mayor a 2.6 mm o 1.03 %. Los resultados para los bosques de la Sierra mostraron que estos no tuvieron diferencias estadísticamente significativas a la precipitación neta ( $P > F = 0.6500$ ), la precipitación bajo la cobertura arbustiva ( $P > F = 0.7031$ ), la intercepción ( $P > F = 0.6405$ ), pero si a la escorrentía fustal ( $P > F = 0.0001$ ). La escorrentía fustal fue también estadísticamente diferente entre los árboles del género *Pinus* ( $P > F = 0.0001$ ) y *Quercus* ( $P > F = 0.0001$ ) y este parámetro se relacionó estadísticamente con la cobertura, el diámetro y la altura

promedio. El modelo de Gash se ajustó adecuadamente a la intercepción observada de los bosques de coníferas porque la diferencia entre la intercepción observada y modelada no fue mayor a 3 mm o 2.8% para las lluvias de ajuste y de validación del modelo. El análisis de sensibilidad del modelo de Gash en las cuatro comunidades mostró que los parámetros S (Saturación de copas) y a (La pendiente de la relación entre la intercepción y la precipitación total) tuvieron las desviaciones más grandes en la intercepción estimada. Se recomienda estimar más precisamente estos parámetros antes de aplicar el modelo de Gash. Las cuatro comunidades mostraron diferencias estadísticamente significativas a la intercepción ( $P < 0.0001$ ). Las mayores tasas se registraron en las parcelas del matorral espinoso tamaulipeco y las menores en los bosques de coníferas del nordeste de la Sierra Madre. En base a los parámetros del modelo de Gash,  $P_g$  (Lluvia necesaria para saturar la cobertura) fue relativamente mayor en los bosques de coníferas, mientras que la tasa promedio de evaporación durante la lluvia (E) fue mayor en la comunidad del matorral espinoso tamaulipeco. El modelo de Gash debe ser aplicado con parámetros estimados independientemente entre comunidades de plantas, así como al nivel de parcela.



## ABSTRACT

This study had as objectives to: 1) estimate interception loss, 2) relate the interception loss parameters to the dasometric characteristics of the plant community, and 3) to fit the analytical interception loss model of Gash to observed interception loss in four characteristic plant communities of northeastern Mexico. Gross rainfall, throughfall and stemflow were measured from April 1997 to April 1998 for the tamaulipan thornscrub plant community and from May 1997 to April 1998 for the coniferous forests of the Eastern Sierra Madre. Gross rainfall was measured in a rainguage, throughfall in four throughs in each sampling plot and 12 throughs in plots of coniferous forests. Stemflow was measured in six pots and collars installed to each of six shrubs and six trees of the thamaulipan thornscrub and coniferous forests, respectively. Interception loss parameters were estimated by regression analysis and tested by differences between sampling plots by a covariance analysis, where gross rainfall was the covariate. Interception loss model of Gash was validated with an independent data set. To fit the model parameters two sets of data were utilized, with 27 and 29 rains and to test the goodness of fit, 8 and 10 rains were used for the tamaulipan thornscrub and the coniferous forests of the eastern Sierra Madre, respectively. The results showed that sampling plots had statistical differences to interception loss and stemflow. Stemflow was also statistically different among sampled plant species and between shrubs of the same plant species. Total interception loss and stemflow were statistically related to total plant cover, stem diameter and total tree height. The model of Gash fitted well observed interception loss because the difference between observed and estimated was not greater than 4 mm or 3.5% of the total rainfall. The results for the coniferous forests of the eastern Sierra Madre did not show statistical differences to net rainfall ( $P>F=0.6500$ ), throughfall ( $P>F=0.6405$ ), but to stemflow ( $P>F=0.0001$ ). Stemflow was also different between trees of genus *Pinus* ( $P>F=0.0001$ ) and *Quercus* ( $P>F=0.0001$ ) and it was related to canopy cover, tree diameter and total height. The model of Gash also fitted well observed interception loss of coniferous forests because their difference was not larger than 3 mm or 2.8% for the rains of fitting parameters and validating the model. The sensitivity analysis of Gash model showed that parameters S (water storage in canopies) and a (the slope of the relationship between interception loss and gross rainfall) had the largest deviations in total estimated interception loss. It is

recommended to more precisely estimate these parameters before the analytical model of Gash is extensively applied. The plant communities tested showed also statistical differences to interception loss ( $P > F = 0.0001$ ). The largest values were recorded in tamaulipan thornscrub plots and the smallest in coniferous forests of the eastern Sierra Madre. Based on the parameters of the analytical model,  $P'g$  (rainfall needed to saturate canopies) was relatively larger in coniferous forests whereas average evaporation rate during storms ( $E$ ) was relatively larger in the tamaulipan thornscrub. The model of Gash must be run with parameters independently estimated between plant communities as well as between the plant community when applied to the landscape scale in northeastern Mexico.

## CAPÍTULO I

### INTRODUCCIÓN

El agua es uno de los elementos críticos del desarrollo regional del nordeste de México y, a pesar de su importancia, pocos estudios se han realizados para entender las relaciones entre la lluvia y la vegetación y los procesos hidrológicos generados en las cuencas de la región. En este estudio se detallan las observaciones realizadas sobre la intercepción en comunidades representativas del matorral espinoso tamaulipeco y en bosques de la Sierra Madre Oriental del nordeste de México.

La intercepción se define como la porción de la lluvia que es retenida por la vegetación y regresada a la atmósfera por la evaporación (Leonard, 1961). Se le considera como un proceso que afecta la cantidad y distribución del agua en el suelo (Collins, 1970; Herwitz, 1986; Návar y Bryan, 1990). Su estudio es importante dentro del ciclo hidrológico para determinar la cantidad de lluvia que es retenida por la vegetación existente y la que llega a la superficie del suelo.

Este proceso ha sido estudiado en diferentes tipos de comunidades vegetales tales como templadas (Gash *et al.*, 1980, Pearce *et al.*, 1980, Kelliher *et al.*, 1992; Loustau, *et al.*, 1992; Viville *et al.*, 1993; Neal *et al.*, 1991, 1993) y tropicales (Jackson, 1975; Sambasiva Rao, 1987 y Sinun *et al.*, 1992), así como en ecosistemas áridos y

semiáridos (Slatyer, 1965; Tromble, 1983; Návar y Bryan, 1990, 1994 y Návar *et al.*, En Rev ). Pocos de estos estudios y sus implicaciones hidrológicas han sido observados para definir diferencias entre comunidades áridas, semiáridas y bosques de coníferas de la Sierra Madre Oriental del nordeste de México.

En el caso de ecosistemas áridos y semiáridos el principal argumento del limitado número de estudios sobre los procesos hidrológicos es su escasa cobertura vegetal. Sin embargo, considerando que las zonas áridas y semiáridas ocupan grandes superficies en muchos países del mundo, el estudio de la intercepción y sus componentes es de vital importancia para entender adecuadamente los componentes del ciclo hidrológico y tratar de explicar las posibles adaptaciones de las comunidades vegetales a estas regiones con bajas disponibilidades de agua.

Un caso específico es el matorral espinoso tamaulipeco el cual cubre una superficie aproximada de 200,000 km<sup>2</sup> distribuyéndose en el Nordeste de México y Sur de Texas desde Llera de Canales y los límites sureños de la Sierra Azul en Tamaulipas (González, 1966, 1985) hasta el Altiplano Edwards en Texas (Diamond *et al.*, 1987), y de las faldas de la Sierra Madre Oriental hasta la costa del Golfo de México (Goldman y Moore, 1946; Johnston, 1963). Existen algunos estudios sobre la intercepción en este ecosistema, pero estos se han enfocado a arbustos individuales (Návar y Bryan, 1990, 1994) y al nivel de comunidad (Návar *et al* En Rev) pero no han considerado la medición de la escorrentía fustal de los arbustos representativos de la comunidad, ni han



comparado las variaciones espaciales de los parámetros de intercepción en comunidades del matorral espinoso tamaulipeco ni han observado las posibles diferencias entre los componentes de la intercepción de bosques de la Sierra Madre Oriental.

## **CAPÍTULO II**

### **2.1 OBJETIVOS**

El objetivo principal de esta investigación fue el conocer la importancia relativa de la intercepción en el ciclo hidrológico de 4 comunidades vegetales del nordeste de México.

Los objetivos particulares de esta investigación fueron:

- 1) Medir la intercepción en 4 comunidades vegetales del nordeste de México.
- 2) Medir la escorrentía fustal en 4 comunidades vegetales del nordeste de México.
- 3) Medir la precipitación bajo la cobertura arbustiva en 4 comunidades vegetales del nordeste de México.
- 4) Tratar de explicar las diferencias en la intercepción y escorrentía fustal en función de algunas características dasométricas de la vegetación.
- 5) Ajustar el modelo analítico de Gash a la intercepción observada en 4 comunidades representativas del nordeste de México.
- 6) Validar el modelo analítico de Gash con fuentes independientes de datos de las cuatro comunidades vegetales del nordeste de México.
- 7) Probar la sensibilidad del modelo analítico de Gash a los parámetros y sus desviaciones.
- 8) Definir objetivamente las diferencias existentes de los parámetros de la intercepción entre las cuatro comunidades vegetales del nordeste de México.

## **2.2. HIPÓTESIS GENERAL**

Las comunidades vegetales del nordeste de México, compuestas por matorrales tamaulipecos, matorrales submontanos, bosques de encino, de encino-pino, de pino-encino y de pino, poseen diferencias en características foliares, de cobertura, densidad de árboles y arbustos, los que juegan un papel diferencial en la intercepción.

## CAPÍTULO III

### ANTECEDENTES

#### 3.1. Intercepción

La intercepción es uno de los componentes principales del ciclo hidrológico de los ecosistemas y se define como la porción de la precipitación que es retenida por la vegetación y regresada a la atmósfera por la evaporación (Leonard, 1961). Se le considera como un proceso que afecta la cantidad y la distribución del agua en el suelo (Collins, 1970; Herwitz, 1986; Návar y Bryan, 1990) y algunos investigadores la catalogan como una pérdida dentro del ciclo hidrológico porque no interviene en procesos de humedecimiento de suelos y producción de escorrentía, de beneficio para el ser humano.

La intercepción es la diferencia entre la precipitación total y la precipitación neta. Esta última sigue dos rutas principales, la lluvia bajo la cobertura foliar y la escorrentía fustal. El estudio de estos componentes es importante porque existen variaciones locales explicadas por el clima, la especie y las características de la precipitación. Este proceso ha sido estudiado en diferentes tipos de ecosistemas (Leyton *et al.*, 1967; Rutter y Morton., 1978, Gash *et al.*, 1980; Tromble, 1983; Sambasiva Rao, 1987; Pudjiharta y Basuki, 1988).

#### 3.2. Intercepción en ecosistemas forestales

La cantidad de precipitación que es interceptada por los ecosistemas forestales varía de la interceptada por otras comunidades tales como áridas, semiáridas, pastizales y agrícolas debido a las características de la estructura forestal, las variaciones climatológicas, la composición de especies y sus características morfológicas. (Kittredge 1948, Gilbert 1953, Zinke, 1967 y Thurow *et al.*, 1987).

La intercepción en ecosistemas forestales ha sido objeto de numerosos estudios . Smith (1974) reportó para *Pinus radiata* y *Eucaliptus spp*, mediciones de 18.7 y 10.6 % respectivamente. Thurow *et al.* (1987) reportaron 25.4 % para una comunidad de *Quercus virginiana*. Huber y Oyarzum (1990) reportaron un 15.0 % para *Pinus radiata*. Nizinski *et al.* (1989) observaron un 28.8 % en un rodal de *Quercus petraea*. Considerando solamente especies de coníferas y algunas especies de hojosas, características de ecosistemas templadas, el rango de la intercepción varía desde 3 a 57 % con un promedio de 26.11 % de la precipitación total.

Las variaciones en la intercepción en comunidades forestales han sido explicadas por diversos factores. Sinun *et al.* (1992) observaron que la proporción de la lluvia total interceptada disminuye con la magnitud de la tormenta. La intercepción por el bosque es principalmente regulada por la distribución temporal y por la cantidad e intensidad de la lluvia (Huber y Oyarzun, 1990). La intercepción varía también de acuerdo a las condiciones de las estaciones a través de año. Cape *et al.* (1991) reportaron que la intercepción mostró pequeñas variaciones estacionales en algunas especies estudiadas expresadas en proporción a la lluvia. Johnson (1990) y Nizinski *et al.* (1989) reportaron

que la intercepción en un rodal de *Picea sitchensis* y *Q. petraea* variaron siendo mayor en los meses de verano y mínima en invierno.

La intercepción también varía de acuerdo con la edad de la vegetación estudiada. Pudjiharta y Basuki (1988) reportaron que la intercepción varió en dos plantaciones de *Agathis dammara* de 15 y 23 años, indicando que la intercepción fue más alta en la plantación de mayor edad.

### **3.3. Intercepción en ecosistemas áridos y semiáridos**

La intercepción en los ecosistemas áridos y semiáridos es de importancia debido principalmente a la falta de disponibilidad del agua de lluvia para la sobrevivencia de las especies vegetales, pero, sin embargo no existe mucha investigación disponible para este tipo de comunidades. Algunas razones para esta falta de información puede ser el tamaño relativamente más pequeño de los arbustos en comparación con los árboles y también la cubierta de la vegetación que es a menudo menos del 50%, mientras que los bosques forman la mayoría de las veces densos bloques de árboles (Tromble 1983).

En este tipo de ecosistemas existen algunos estudios sobre la intercepción, pero estos se han enfocado a arbustos individuales (Návar y Bryan, 1990, 1994) Otros estudios sobre este componente del ciclo hidrológico en este tipo de ecosistemas, pero a nivel de comunidad, fueron realizados por Hamilton y Rowe (1949), Slatyer (1965) y Tromble (1983) y Návar *et al.* (En revisión).

En un estudio realizado por Nívar y Bryan (1994) señalan que la intercepción y sus componentes en arbustos individuales de vegetación semi-árida no se desviaron significativamente de otras estimaciones en otras comunidades excepto por la tasa de evaporación durante la lluvia. La intercepción en este tipo de ecosistemas varía de acuerdo con la estación del año, así como por la duración y la intensidad de la lluvia (Hamilton y Rowe, 1949). Rowe (1948) y Hamilton y Rowe (1949) reportaron que la intercepción fue alrededor de 8% de la lluvia total para un tipo de chaparral en el centro y sur de California. Tromble (1983) reportó un 6.7 % de intercepción en una comunidad de *Flourensia cernua* DC en Nuevo México. Nívar y Bryan (1990, 1994) reportaron un rango de 27.2-27.9 % de intercepción para tres arbustos de una comunidad semiárida en el nordeste de México.

#### **3.4. Precipitación bajo la cobertura arbustiva**

La precipitación bajo la cobertura arbustiva es definida como la precipitación que alcanza al suelo debajo de los árboles; en ocasiones se incluye al escurrimiento fustal, el cual comúnmente es medido separadamente (Reynolds y Leyton, 1963) Ésta es la cantidad de agua de lluvia la cual, después de ser interceptada por la copa de los árboles, gotea hacia el suelo, o bien pasa directamente a través de espacios de la cobertura hacia el suelo (Gash,1979).

Las causas de la variación de la precipitación bajo la cobertura arbustiva han sido estudiadas por diversos investigadores en diferentes ecosistemas, Loustau *et al.* (1992)

determinaron en un rodal de *P. pinaster* que los patrones de variabilidad espacial de este componente están en relación con la distribución de ramas, el índice de área foliar y la distribución del follaje en las copas de los árboles. Observaciones realizadas por Cape *et al.* (1991) indicaron que ésta varió en proporción de la lluvia entre estaciones y años. Sood *et al.* (1993) reportaron que este componente varió de acuerdo con la estación del año y con las especies estudiadas siendo para *Quercus Leucotrichophora* y *Rhododendron Arboreum* máxima durante la época lluviosa y en el invierno en *Azadirachta indica*.

Otros investigadores han reportado que las variaciones están en relación con la temperatura del aire y el área foliar (Jiang *et al.*, 1993), mientras que Johnson (1990) y Nívar y Bryan (1990) reportaron que la variación espacial fue dependiente de la distancia entre los tallos de los árboles y por la densidad de la cubierta de tres arbustos individuales del matorral espinoso tamaulipeco.

### 3.5. Escurrimiento fustal

La escorrentía fustal se refiere a la porción de la lluvia interceptada por las copas de los árboles, que es concentrada por el follaje y ramas y se canaliza hacia el suelo por los tallos (Reynolds y Leyton, 1967).

El escurrimiento fustal es considerado por diversos autores como un componente de gran importancia dentro del ciclo hidrológico para comunidades semiáridas,



Pressland (1973) reportó un 40% para *A. aneura* y Slatyer (1965) definió que este mecanismo es uno de los mecanismos que pueden explicar porque los arbustos forrajeros sobreviven a su alrededor. Hamilton y Rowe (1949) registraron un 37% para una comunidad de chaparral en California.

Uno de los principales argumentos para el estudio de este componente de la intercepción es su importancia hidro-ecológica en algunas comunidades vegetales áridas y semi-áridas, porque estas incrementan la escorrentía fustal como una adaptación a la falta de agua en estos ecosistemas (Specht, 1957; Glover y Gwynne, 1962; Slatyer, 1965; Pressland, 1973 y Kovda *et al.*, 1979). Algunos estudios han demostrado esta relación o adaptación de las comunidades vegetales. Goodall (1965) reportó el efecto simbiótico entre *A. aneura* y algunos arbustos forrajeros. Návar y Bryan (1990) estimaron que un área del suelo restringida a los fustes de *Diospyrus texana*, recibía aproximadamente cinco veces más precipitación anual que cualquiera otra localidad bajo las copas o localidades desprovistas de vegetación.

En ocasiones, en algunas comunidades tropicales, se generan tasas de escurrimiento fustal que sobrepasan la capacidad de infiltración del suelo y generan escorrentía superficial (Herwitz, 1986) y contrasta los mecanismos convencionales de generación de corrientes en ecosistemas forestales poco disturbados.

La escorrentía fustal presenta variaciones intraespecíficas. Algunos investigadores en el pasado relacionaron las causas de estas variaciones estadísticamente con el área basal (Rutter, 1963 y Wicht, 1941), con el ángulo del fuste (Hoover *et al.*, 1953 y Clements, 1971) y con el diámetro a la altura del pecho (Reynolds y Henderson, 1967). Busgen (1929), Hoover (1953), Voigt (1960) Eschner (1967) y Reynolds y Henderson (1967) notaron por observaciones visuales, que las ramas con ángulos más agudos sobre la vertical incrementarían el escurrimiento fustal y que este patrón sería más importante en árboles jóvenes. Otro estudio realizado por Návar (1993) para explicar las causas del escurrimiento fustal en tres especies de arbustos semi-áridos, observó relaciones estadísticamente significativas entre el número de ramas y su posición en la copa y definió la importancia de las hojas y su posición en este proceso en *D. texana*. Pressland (1973) menciona que los arbustos de *A. aneura* están adaptados para captar la lluvia y canalizar gran parte de ésta hacia el tallo principal por su posición y tipo de hojas.

En un estudio realizado por Loustau *et al.* (1992), en un rodal de *P. pinaster* en el suroeste de Francia, se determinaron los patrones de variabilidad espacial del escurrimiento fustal en relación a la distribución de ramas, el índice de área foliar y la distribución del follaje en las copas de los árboles. Jiang *et al.* (1993) señalaron que la temperatura del aire y el área foliar son los principales factores que influyen en la cantidad relativa del escurrimiento fustal. Masukata *et al.* (1990) observaron en un rodal dominado por *Castanopsis cuspidata*, así como por otras especies como *Pasania edulis*, *Quercus Glauca*, *Ilex pedunculosa* y *Photinia glabra*, que el volumen de escorrentía

fustal difiere ampliamente entre las especies y entre los árboles individuales de una especie. De manera particular, la forma del árbol de *P. edulis* es apta para coleccionar el escurrimiento fustal porque un árbol de esta especie registró el 64% del escurrimiento fustal, además también observaron que la proporción de esorrentía fustal de la lluvia total disminuye en el verano debido a un incremento en la biomasa foliar y un aumento en la temperatura del aire.

### 3.6. Modelos de intercepción de la lluvia para bosques

La intercepción de la lluvia por el dosel es un componente importante en el balance del agua en áreas forestales y ha sido objeto de varios estudios. Algunos modelos han sido desarrollados para predecir este proceso hidrológico (Rutter *et al*; 1971; Gash, 1979; Massman, 1983; Calder, 1986).

Muchos estudios previos han usado ecuaciones de regresión empíricas entre la intercepción y la lluvia total (Helvey y Patrick, 1965; Brechtel y Plavlov, 1977). Tales aproximaciones empíricas son muy populares (Spranger, 1992). Estos tienen una desventaja al no considerar la intensidad de la lluvia o la velocidad del viento durante la lluvia y por lo tanto, pueden extrapolarse sólo a bosques similares en los mismos climas (Gash, 1979). Esto es una desventaja en regiones costeras con altas velocidades de viento.

Un modelo físico más detallado fue desarrollado por Rutter *et al.* (1971) quienes calcularon el balance del agua incluyendo la intercepción de bosques, usando datos de lluvia horaria y condiciones micrometeorológicos de bosques, para la estimación de la evaporación de la intercepción de la lluvia. Recientemente, Lankreijer *et al.* (1993) publicaron un estudio comparando diferentes aproximaciones para calcular el rango de la evaporación usando la ecuación Penman-Monteith y dando énfasis a la sensibilidad de los modelos de intercepción a este factor. Parámetros de la estructura del bosque tales como la capacidad de almacenaje y el porcentaje de drenaje. Este procedimiento ha sido validado en diferentes bosques (Rutter *et al.*, 1975).

Un método para realizar una mejor predicción fue realizada por Gash (1979) quien simplificó el modelo de Rutter, reemplazando las aproximaciones numéricas de Rutter con la teoría analítica, con promedios de la duración de la lluvia y la tasa promedio de evaporación para todas las tormentas que saturan la cobertura en el periodo de medición.

El modelo de Gash es ampliamente usado en la literatura científica (Gash *et al.*; 1980; Pearce y Rowe, 1981; Rowe, 1983; Dolman, 1987; Návar y Bryan, 1994; Návar *et al.*, En Rev.). Por ejemplo, Loustau *et al.* (1992) lo aplicaron en un rodal de *Pinus pinaster* y observaron que la cantidad de intercepción en porcentaje de lluvia fue más alta dependiendo de la intensidad de la lluvia, las cantidades más altas de intercepción ocurrieron sobre condiciones de lluvia ligera. Además, Loustau *et al.* (1992), en su

estudio mostró que la intercepción fue más dependiente de los parámetros climáticos durante las tormentas que sobre los parámetros estructurales del bosque.

Diferentes modelos de regresión y el modelo de Gash han sido probados por Rowe (1983) para un bosque de *Nothofagus* en Nueva Zelanda, dando estimaciones similares y satisfactorias de la intercepción de la lluvia. Rowe (1983) también revisó diferentes aproximaciones para estimar los parámetros estructurales del bosque tales como la capacidad de almacenaje de la cobertura. Además estableció que las aproximaciones con regresiones, ampliamente usadas, entre la lluvia y la precipitación bajo la cobertura arbustiva, para estimar la capacidad de almacenaje están fuertemente influenciadas por la velocidad del viento y la intensidad de la lluvia.

Los parámetros estructurales del bosque no son solamente para las especies individuales sino también para sitios específicos, como lo mostraron Gash *et al.* (1980) y después por Teklehaimanot *et al.* (1991) quienes investigaron la influencia del espaciamiento de los árboles en la intercepción de los bosques. Más recientemente Hörmann *et al.* (1996) reportaron un nuevo modelo dinámico de intercepción de la lluvia (Wimo) el cual considera la influencia del viento sobre la capacidad de almacenaje del dosel en un rodal de haya en el nordeste de Alemania.

Los modelos de intercepción citados han sido desarrollados para bosques de coníferas. La aplicación de tales modelos para bosques deciduos no ha sido ampliamente estudiada. Dolman (1987) mostró que en bosques latifoliados puede haber

grandes variaciones de año en año en la estructura del dosel influenciado por ejemplo por el ataque a las hojas de defoliadores.

## CAPÍTULO IV

### 4.1.MATERIALES Y MÉTODOS

#### CARACTERÍSTICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO

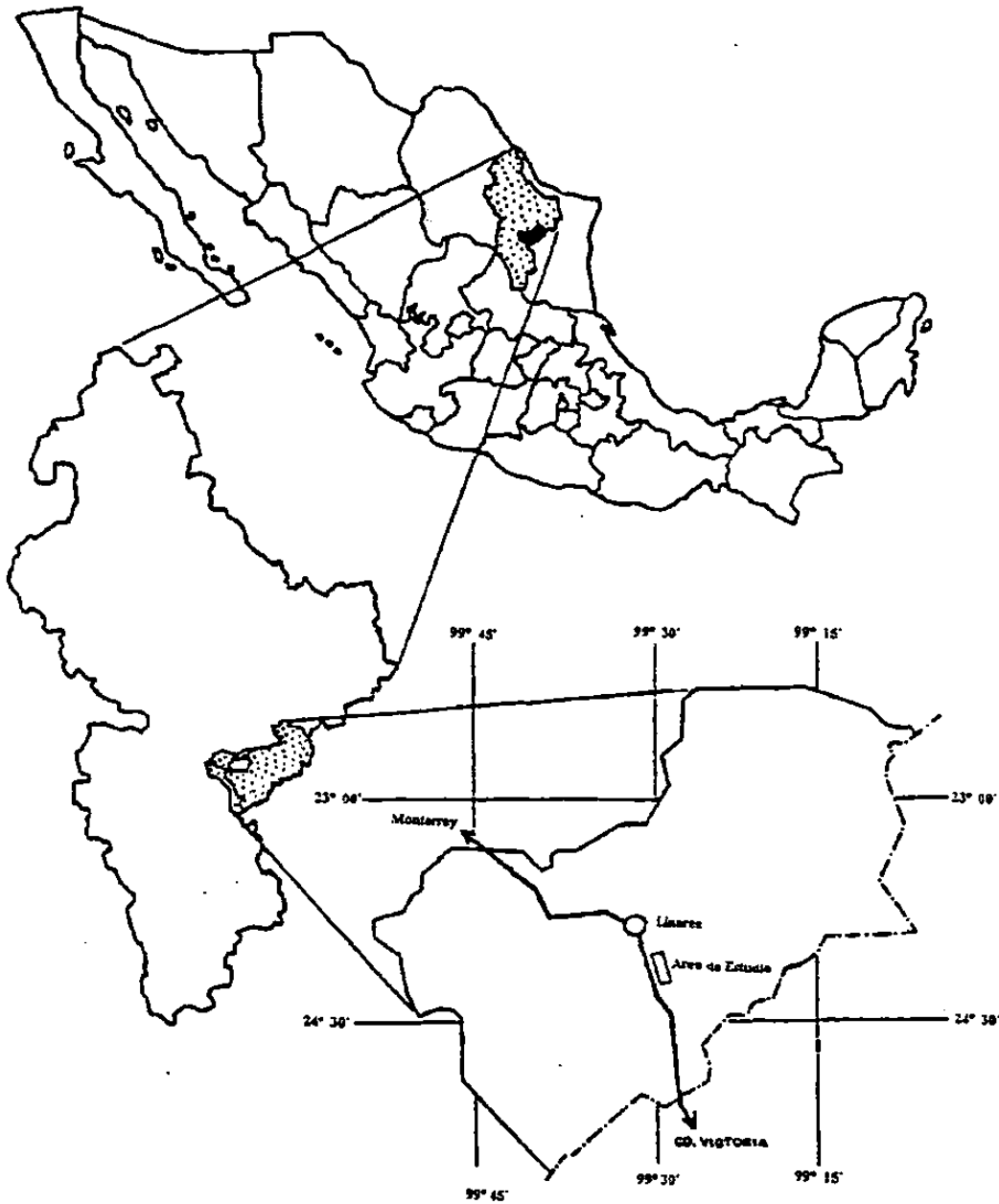
##### A) MATORRAL ESPINOSO TAMAULIPECO

###### 4.1.1. Localización

El área de estudio se localiza en el matorral escuela, ubicado dentro del Campus Universitario Linares de la UANL (Latitud 24° 47' N, longitud 99° 32' w) a 355 metros sobre el nivel del mar; aproximadamente 8 Km hacia el sur de Linares, N.L. en la Planicie Costera del Golfo Norte (Fig. 1).

###### 4.1.2. Clima

El clima del área es semicálido subhúmedo, con dos épocas de lluvia en verano. La temperatura media mensual varía de 14.7 °C en enero a 22.3° C en agosto. Sin embargo, temperaturas máximas diarias de 45°C son comunes durante el verano. La precipitación promedio anual es de 805 mm de los cuales el 80% ocurren durante el periodo de mayo-octubre. Aproximadamente el 50% de la precipitación en la estación lluviosa está relacionada con lluvias localizadas de tipo convectivo ocasionadas por disturbios de las latitudes medias. La evapotranspiración potencial anual, estimada por el método de Thornthwaite, es de aproximadamente 1150 mm (Návar *et al.*, 1993), aunque los evaporímetros registran aproximadamente 2200 mm anuales.



**Figura 1. Localización del área de estudio.**



#### 4.1.3. Suelos

El tipo de suelo de la planicie es un vertisol de origen aluvio-coluvial profundo, de textura arcillo limosa de color oscuro, que presenta valores muy altos de materia orgánica en el horizonte superior, bajando estos valores con la profundidad. El pH muestra un medio alcalino en general. El suelo de la planicie presenta condiciones favorables para el desarrollo del matorral (Heiseke y Foroughbakhch, 1985).

#### 4.1.4 Geología

La roca madre de los sitios consiste de lutitas formadas en el cretácico superior, desplazadas y perturbadas en su estratigrafía por medios aluviales y coluviales en los períodos pleistoceno y holoceno con cementación débil. En la parte media, se localizan lutitas del cretácico superior y en las cimas gravas con caliche de origen pleistocénico con cementación muy fuerte (Heiseke y Foroughbakhch, 1985).

#### 4.1.5. Vegetación

El matorral espinoso tamaulipeco está constituido por una densa gama de especies vegetales, entre las que destacan *Acacia rigidula*, *Havardia pallens*, *Acacia farnesiana*, *Condalia hookeri*, *Diospyros texana*, etc. El estrato inferior se encuentran cubierto por herbáceas poco densas de los géneros *Bouteloua*, *Panicum*, *Setaria* y *Chloris*. Heiseke y Foroughbakhch. (1985) midieron dos arbustos por m<sup>2</sup>, con un promedio de altura de 1.95 m y proyección horizontal de las copas de 1.05 por m<sup>2</sup>. La comunidad vegetal es muy uniforme en apariencia. Aunque esta parece del tipo subtropical, la mayoría de las

especies poseen espinas, características de la vegetación semiárida. Las características dasométricas de los arbustos de las parcelas experimentales se reportan en el Cuadro 1.

**Cuadro 1. Características dasométricas de los arbustos de las parcelas experimentales**

	PARCELAS					
	1	2	3	4	5	6
No. de especies	5	6	6	6	8	9
No. de arbustos	26	22	12	10	23	22
Cob. Total (m <sup>2</sup> )	27.45	37.43	23.65	19.81	25.89	67.70
Altura promedio (m)	3.21	2.82	2.68	2.19	2.40	3.17
Diam. Promedio (cm)	2.92	2.30	2.69	3.93	2.41	3.85

## **B) BOSQUES DEL NORDESTE DE MÉXICO.**

### **4.1.6. Localización**

Los rodales de pino, encino y pino-encino se ubicaron en el Bosque -Escuela de la Facultad de Ciencias Forestales de la UANL, el cual se encuentra localizado a 40 km. al SW de Linares, N.L. en Santa Rosa, municipio de Iturbide, N.L. Se ubica entre los 24° 43' de latitud Norte y 99° 52' longitud Oeste, a una altura sobre el nivel del mar entre los 1200 y 1925 m (Fig. 2).

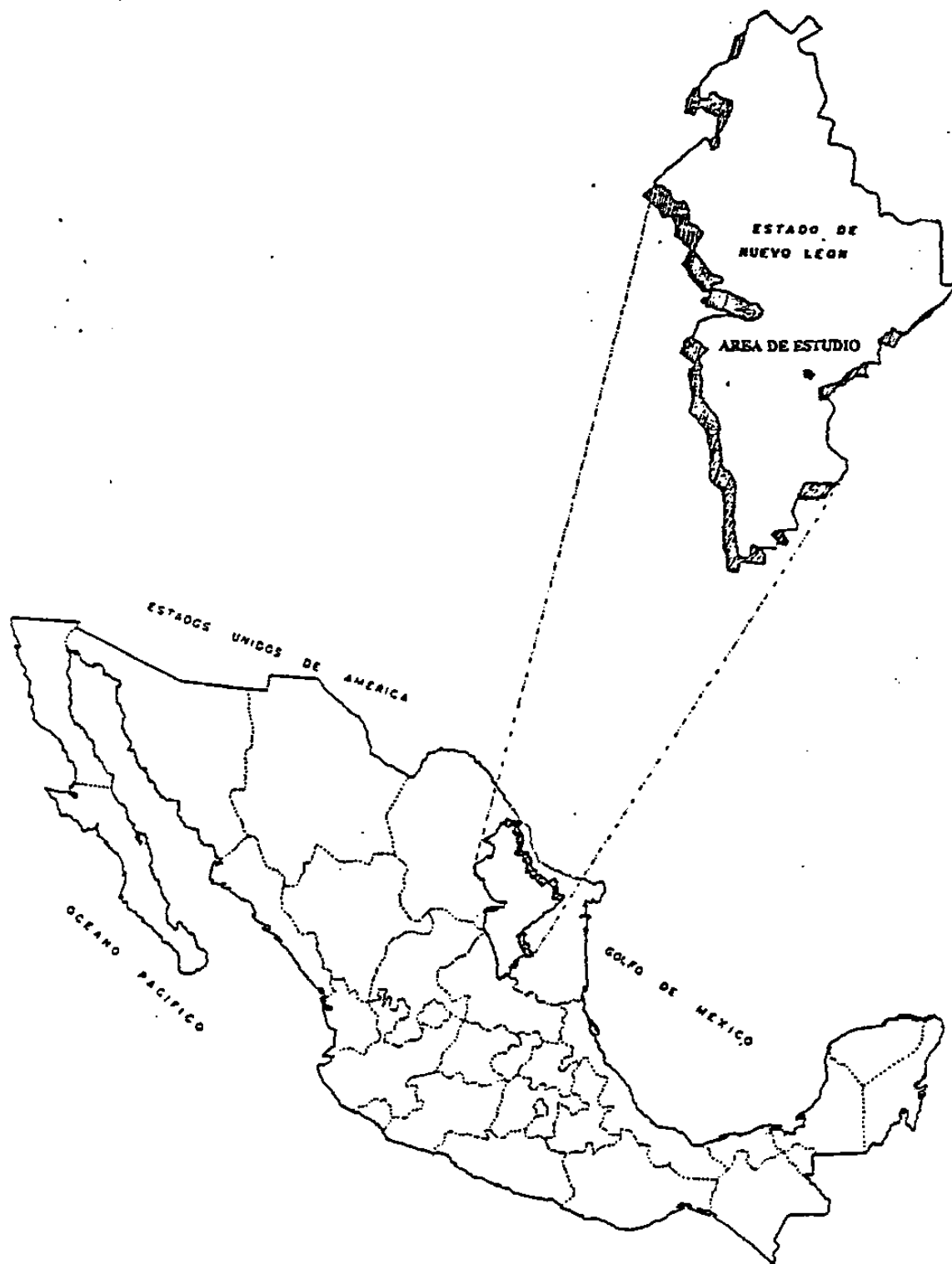


Figura 2. Localización del área de estudio.

#### 4.1.7. Clima

Según Koppen y modificado por García (1973), el clima de la región se caracteriza como semiseco y semicálido (SPP, 1981). El tipo  $BS_1 kw$  es un clima con lluvias de verano, un porcentaje de precipitación invernal entre 5 y 10.2 y un invierno fresco con una precipitación media anual de 580mm. En cuanto a la temperatura, los meses más cálidos son junio, julio y agosto, con 20 a 21° C promedio; el mes más frío es enero, con una temperatura media de 12° C, el promedio anual es 17° C.

#### 4.1.8. Suelos

Según la clasificación de la FAO/UNESCO (1974) el tipo de suelo dominante en esta área es el litosol y se asocia con suelos secundarios como el Regosol - Calcárico y Rendzinas. Las características principales de estos suelos son las siguientes:

Litosol : Suelos poco profundos menores de 10 cm. hasta la roca tepetate o caliche duro. Se localiza en todas las sierras de México. Las características son muy variables de acuerdo al material que los forme.

Rendizina : Como característica principal rica en humus y muy fértil, que se encuentran sobre roca caliza o algún material rico en cal. No son muy profundos y son por lo general arcillosos con susceptibilidad a la erosión moderada.

Regosol : La característica de estos suelos es que no presentan capas distintas, son claros en general y se parecen mucho a la roca que tiene debajo, cuando no son profundos.

#### 4.1.9. Vegetación

Según Synnott y Marroquín (1987) se pueden distinguir algunas comunidades con sus transiciones, basadas en su estructura y en las especies de árboles dominantes: bosque de cañón, bosque de encinos, bosque de encino- fresno-cedro en caliza, bosque de pino, bosque de cedro, matorral- chaparral bajo, abierto. En sus formas actuales, no se pueden denominar estas comunidades como clímax, virgen o natural en el sentido de ausencia de disturbios o impactos de los humanos. Sin embargo, todas son especies y comunidades nativas. Hasta en las áreas más degradadas, se incluyen elementos que muestran la estructura, la composición, el crecimiento o la dinámica de la sucesión de bosques naturales en la región.

Estas comunidades se pueden dividir más, según su composición y estructura, pero se proponen los grupos descritos aquí como un paso importante en el estudio y entendimiento de la ecología del terreno.

#### Bosque de encino

Estas comunidades existen típicamente en las pendientes hacia el norte y noroeste, las cuales tienen menos exposición al sol, en todas altitudes. Incluyen los rodales mas estables y menos perturbados del terreno. La gran mayoría del dosel se

forma de 2 o 3 especies de *Quercus* de 6 -12 m de altura, aunque existen otras especies de árboles y arbustos. En rodales cerrados y protegidos, los encinos son muchas veces de fuste derecho y bien formado, aunque en sitios menos protegidos del sol los rodales son más abiertos y mezclados, con árboles más cortos, torcidos y ramificados.

Las especies de encino tienen diferentes hábitats característicos, aunque a veces varían o coinciden en parte dentro de su rango de distribución. En este terreno, *Quercus cupreata* se encuentra principalmente en las partes más bajas de la pendientes. *Q. canbyi* y *Q. prinopsis* existen en mezcla con él, y se vuelven dominantes en partes extensas de estas laderas. *Q. glaucooides* existe principalmente en mezcla con otros encinos en áreas de transición de caliza-lutita.

Se encuentran varias especies de árboles y arbustos, tolerantes a la sombra, en los bosques de encino, tal como en los bosques más abiertos o en mezcla con pinos. Las más comunes son *Arbutus xalapensis*, *Rhus pachyrrachis* y *Pistacia*. En ciertas localidades del terreno, en áreas más bajas y protegidas, el subarbusto *Dioon edule* (Zamiaceae) es un elemento notorio.

#### Bosque de encino-fresno-cedro en áreas de caliza

Esta comunidad es muy variable en estructura, y diversa en especie. Incluye típicamente *Quercus glaucooides*, las dos especies de *Fraxinus*, *Juniperus flaccida*, *Arbutus arizonica*, *Decatropis bicolor*, *Ptelea trifoliata*, *Rhus pachyrrachis* y otras. Los pinos son raros o ausentes.

Los encinos, muchos de ellos antiguos, son muy ramificados, torcidos e inclinados, indicando un rodal que era, y algunas veces lo es aún, muy abierto. Están mas abiertos que los típicos bosques de encino, y con frecuencia eran anteriormente más abiertos de los que están actualmente.

La estructura de los árboles de encino sugiere que ellos fueron los dominantes antes, pero que factores humanos y ambientales se combinaron para producir un bosque más abierto hace varios años. Últimamente, los *Fraxinus*, *Juniperus* y *Ptelea* han aumentado mucho su importancia en el substrato, aprovechando los claros naturales, y se muestran ahora como árboles jóvenes, erectos y derechos en mezcla con los antiguos encinos chuecos.

Esta comunidad se encuentra característicamente en áreas con suelos delgados, arcillosos, de color café rojo. La parte superior del suelo parece tener una textura y fertilidad excelentes, pero la zona donde penetra la mayoría de las raíces es generalmente poco profunda. Este bosque se encuentra en áreas altas y en las cordilleras, encima de otros bosques de encinos, y en algunas de las crestas de la pendientes al sur, y en forma conspicua también más abajo en algunos cañones donde aflora caliza. Los restos se encuentran como un bosque abierto en pendientes hacia el sur y sureste.



### Bosque de Pino

Estos rodales están dominados por *Pinus pseudostrobus*, normalmente con una copa casi cerrada y con un substrato, pero a veces en rodales abiertos y degradados. Se presentan otros árboles, como *Juniperus flaccida*, *Arbutus xalapensis*, *Rhus pachyrrachis* y *Quercus canbyi*. Además, ocurren varias especies de arbustos como *Acacia rigidula*, *Amelanchier denticulata*, *Croton fruticosus*, *Senecio aschenbornianus*, *Stevia berlandieri* y un encino enano. Se encuentra típicamente en pendientes hacia el sur, suroeste u oeste, pero también en lugares expuestos. En la cima de muchas de las cordilleras expuestas hacia el noreste sobre lutita, y además en sedimentos recientes, hay característicamente un pequeño rodal de pino o por lo menos unos cuantos árboles. Estas pendientes al noreste están dominadas, por lo general, por encima en las áreas más protegidas y más altas de la cordillera, pero se pueden encontrar individuos o grupos de pinos en diversos lugares.

Los árboles mas antiguos examinados tienen más de 90 años de edad. Los rodales han sido afectados por incendios, pastoreo y cortes de leña, madera y tizones. En condiciones estables y con poco disturbio, los encinos crecen y se regeneran bien dentro de los bosques de pino como se ven los rodales alrededor de la antigua milpa, cercada desde años y ahora ocupada por el vivero y la estación forestal.

## 4.2.DISEÑO EXPERIMENTAL

### A) MATORRAL ESPINOSO TAMAULIPECO

La investigación consistió en aislar 6 unidades experimentales de matorral de 10mx10m con mallas de alambre, en cada una de las cuales se marcaron parcelas de 5mx5m. En cada parcela se instalaron 4 canaletas y 6 macetas para medir la precipitación bajo la cobertura arbustiva (Pbc) y la escorrentía fustal (Ef) respectivamente.

Las canaletas tuvieron dimensiones de 10 cm de ancho por 100 cm de longitud y se sostuvieron con soportes metálicos de 30 cm de altura. Las macetas consistieron en colectores de plástico de 3 litros insertadas en los fustes de los árboles y drenaron a través de una manguera hacia un colector de 20 litros cada uno.

Algunas de las especies observadas fueron: *Acacia rigidula*, *Condalia hookeri*, *Bumelia celastrina*, *Cordia boissieri*, *Havardia pallens*, *Zanthoxylum fragara*, *Diospyros palmeri* y *Prosopis laevigata*. El número de individuos para cada especie varió de acuerdo a su presencia en las parcelas experimentales

### B) BOSQUES DEL NORDESTE DE MÉXICO

La investigación consistió en aislar 3 rodales experimentales de pino, encino y pino-encino. En cada rodal se instalaron 12 canaletas y 6 collares de manguera para medir la precipitación bajo la cobertura arbustiva, Pbc, y la escorrentía fustal, Ef, respectivamente.

Las canaletas tuvieron dimensiones de 10 cm de ancho por 100 cm de longitud y se sostuvieron con soportes metálicos de 30 cm de altura. Los collares consistieron en mangueras de riego, cortadas longitudinalmente y selladas a los fustes en un patrón en espiral con silicón. La parte inferior del collar drenó el escurrimiento fustal hacia un colector de 20 litros cada uno. Las especies localizadas dentro de los rodales experimentales son *Pinus pseudostrobus* en el bosque de pino, *Q. Canby*, *Q. Cupreata* y *Q. laeta* en el bosque de encino y *P. pseudostrobus*, *Q. Canby* y *Q. Cupreata* en el bosque de pino-encino.

#### 4.3. Procedimiento

Las mediciones de la precipitación total ( $P_G$ ), bajo la cobertura arbustiva ( $P_{bc}$ ) y la escorrentía fustal ( $E_f$ ) se realizaron diariamente después de cada lluvia durante abril de 1997 a marzo de 1998 en el caso del matorral y de mayo de 1997 a abril de 1998, para los rodales en el bosque, en este periodo se registraron 35 y 39 lluvias individuales con diferentes cantidades e intensidades, respectivamente.

La intercepción se estimó de:  $I = P_G - P_n$ , donde:  $I$  = intercepción,  $P_G$  = precipitación total (mm),  $P_n$  = precipitación neta (mm);  $P_n = P_{bc} + E_f$ .

#### 4.4 Estadísticas

Para determinar las diferencias estadísticas en la intercepción y escorrentía fustal entre las parcelas y bosques, en la escorrentía fustal entre las especies, y entre los arbustos y árboles, se aplicó un análisis de covarianza, donde  $P_G$  fue la covariable.

Para establecer las relaciones estadísticas existentes entre 1) la intercepción y sus componentes y la lluvia total, 2) la intercepción y las características de la cobertura y 3) los coeficientes de escorrentía fustal y las características dasométricas de los arbustos y los árboles, se utilizaron regresiones lineales y no lineales.

#### 4.5. Modelo analítico de intercepción de Gash

Para ajustar y validar el modelo analítico de intercepción de Gash, la fuente de datos de intercepción se dividió en dos grupos tanto para el matorral como para los bosques de la Sierra Madre Oriental:

- 1) El primero, para ajustar el modelo con 27 lluvias (77.14%) y 29 lluvias (74.36%), para el matorral y bosques de la Sierra Madre Oriental, respectivamente.
- 2) El segundo, para validar el modelo con 8 lluvias (22.86%) y 10 lluvias (25.64%) para el matorral y bosques de la Sierra Madre Oriental, respectivamente.

Los datos de ajuste y validación se seleccionaron completamente al azar. Gash (1979) presentó el modelo para estimar la intercepción total como:

$$\sum_{j=1}^{n+m} I_j = n(1-p-p_t)P'_G + (\bar{E} / \bar{R}) \sum_{j=1}^n (P'_{Gj} - P'_G) + (1-p-p_t) \sum_{j=1}^m P_{Gj} + qS_t + p_t \sum_{j=1}^{m+n-q} P_{Gj}$$

Donde:  $\sum_{j=1}^{n+m} I_j$  = Intercepción Total (mm), n = número de lluvias que saturan el follaje,

m = número de lluvias que no saturan el follaje, q = número de lluvias que saturan

ramas y fustes ( $P_g > S_t/p_t$ ),  $S_t$  = almacenamiento de agua en los fustes y ramas (mm),  $\bar{E}$  = tasa promedio de evaporación durante la lluvia ( $\text{mm h}^{-1}$ ),  $\bar{R}$  = intensidad promedio de la lluvia sobre las copas saturadas ( $\text{mm h}^{-1}$ ),  $p$  = proporción de apertura del follaje,  $p_t$  = proporción de la lluvia que es escurrimiento fustal,  $P_G' = -S(\bar{R}/\bar{E})\text{Ln}(1-p-p_t)$  lluvia necesaria para saturar la cobertura (mm),  $\Sigma P_{Gj}$  = lluvia total (mm),  $S$  = lluvia almacenada en la cobertura cuando ésta se encuentra saturada.

#### 4.6. Estimación de parámetros

Gash (1979) mostró que la pendiente,  $a$ , de la regresión entre la intercepción y la precipitación total es igual a  $(\bar{E}/\bar{R})$ , entonces  $E = a \cdot R$ .  $S$  fue considerada como la intercepta de la misma relación. De igual forma,  $S_t$  y  $P_t$  fueron considerados por Gash (1979) como la intercepta y pendiente de la relación entre la escorrentía fustal y la precipitación total. El parámetro  $p$  fue considerado como el índice entre la lluvia registrada bajo la cobertura y la lluvia total para la menor precipitación.

#### 4.7. Análisis de sensibilidad del modelo de Gash

El modelo se trabajó con los parámetros estimados por los procedimientos descritos. El modelo se volvió a correr con cada uno de los parámetros más su respectivo intervalo de confianza al 95 % para determinar la sensibilidad de la intercepción total a los errores en la estimación de parámetros. Los parámetros considerados en esta prueba fueron  $S_t$ ,  $P_t$ ,  $S$  y  $a$ .

## **CAPÍTULO V**

### **5.1. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### **A). MATORRAL ESPINOSO TAMAULIPECO**

##### **5.1.1. Precipitación total**

La precipitación total medida durante el periodo de estudio fue de 489.11 mm, con un promedio de 13.97 mm y una desviación estándar de 27.03 mm para un total de 35 lluvias registradas durante el periodo de abril de 1997 a marzo de 1998. Las lluvias menores de 5 mm representaron el 51.43%, entre 10 y 40 mm el 45.71% y mayores que 100 mm el 2.86 % del total. En general, las precipitaciones tuvieron orígenes en procesos de convección originados por disturbios meridionales.

##### **5.1.2. Precipitación neta**

La precipitación neta total promedio para las 6 parcelas fue de 396.81 mm (81.13 %). Por parcela, las Pn totales en relación con la precipitación total fueron 392.00 mm, 410.2 mm, 405.65 mm, 393.75 mm, 417.9 y 361.5 mm para las parcelas de la 1-6, respectivamente (Fig. 3)

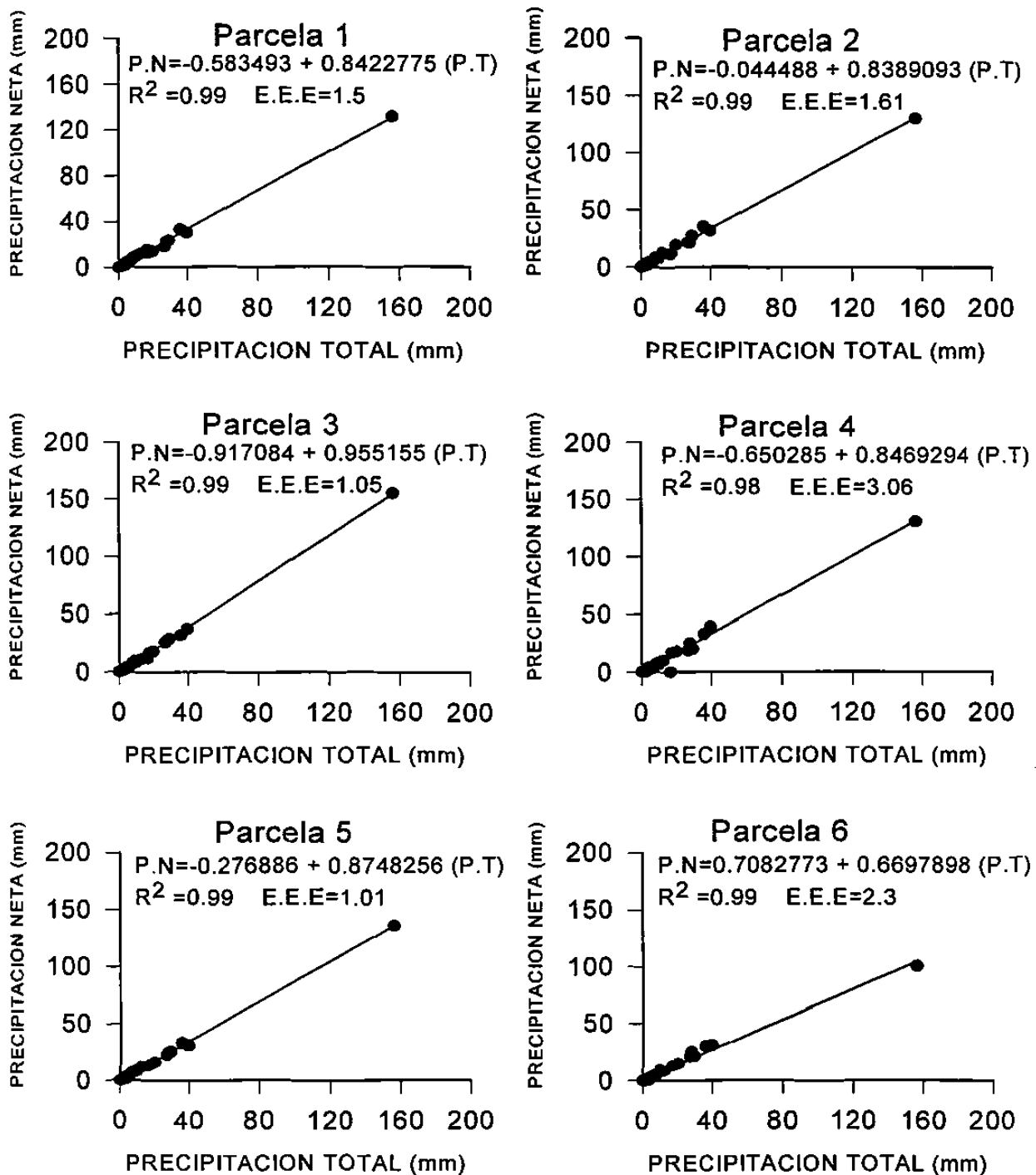


Figura 3. Relación entre la precipitación neta y la precipitación total para seis parcelas de una comunidad semi-árida del nordeste de México.

### 5.1.3. Precipitación bajo la cobertura arbustiva

La precipitación bajo la cobertura arbustiva promedio total y su desviación estándar para las seis parcelas fue de 382.07 mm, (78.12%) y 17.10 mm, respectivamente. Por parcela, la Pbc total fue: 375.44 mm, 391.0 mm, 373.41 mm, 384.0 mm, 409.3 mm y 359.2 mm, para las parcelas 1-6, respectivamente (Fig. 4).

El porcentaje de la lluvia bajo la cobertura arbustiva con respecto a la precipitación total obtenida en esta investigación es similar al observado en otros ecosistemas. Manokaran (1979) midió 77.56% en un bosque tropical lluvioso, Sood *et al.* (1993) observó 70.57%, 69.80%, y 78.09% para tres especies de árboles de madera dura en Shimla, India, Jiang *et al.* (1993) en un ecosistema forestal en Hubei, China obtuvo 73.1% y Sinun *et al.* (1992) registró para un bosque lluvioso en Sabah, Malasya un promedio de 80.7%.

### 5.1.4. Escurrimiento fustal

El escurrimiento fustal total promedio observado en las parcelas fue de 14.50 mm, (3.01%). Las parcelas mostraron diferencias estadísticamente significativas a la escorrentía fustal ( $P > F = 0.0001$ ). Por parcela, la escorrentía total fue: 16.5<sup>B</sup> mm, 19.3<sup>B</sup> mm, 32.1<sup>A</sup> mm, 9.9<sup>C</sup> mm, 8.48<sup>C</sup> mm y 2.2<sup>D</sup> mm (Fig.5).



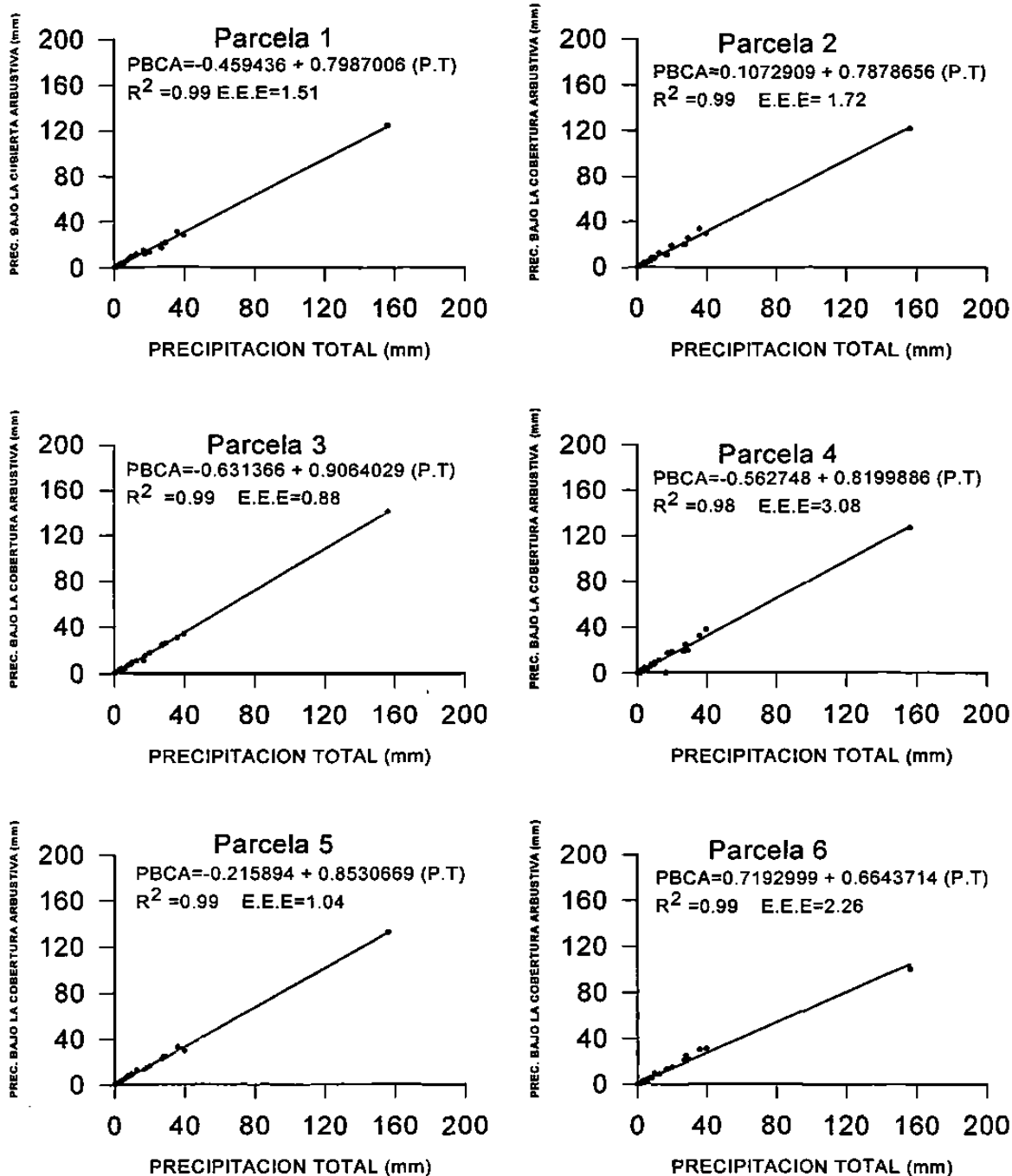


Figura 4. Relación entre la precipitación bajo la cobertura arbustiva y la precipitación total para seis parcelas de una comunidad semi-árida del nordeste de México.

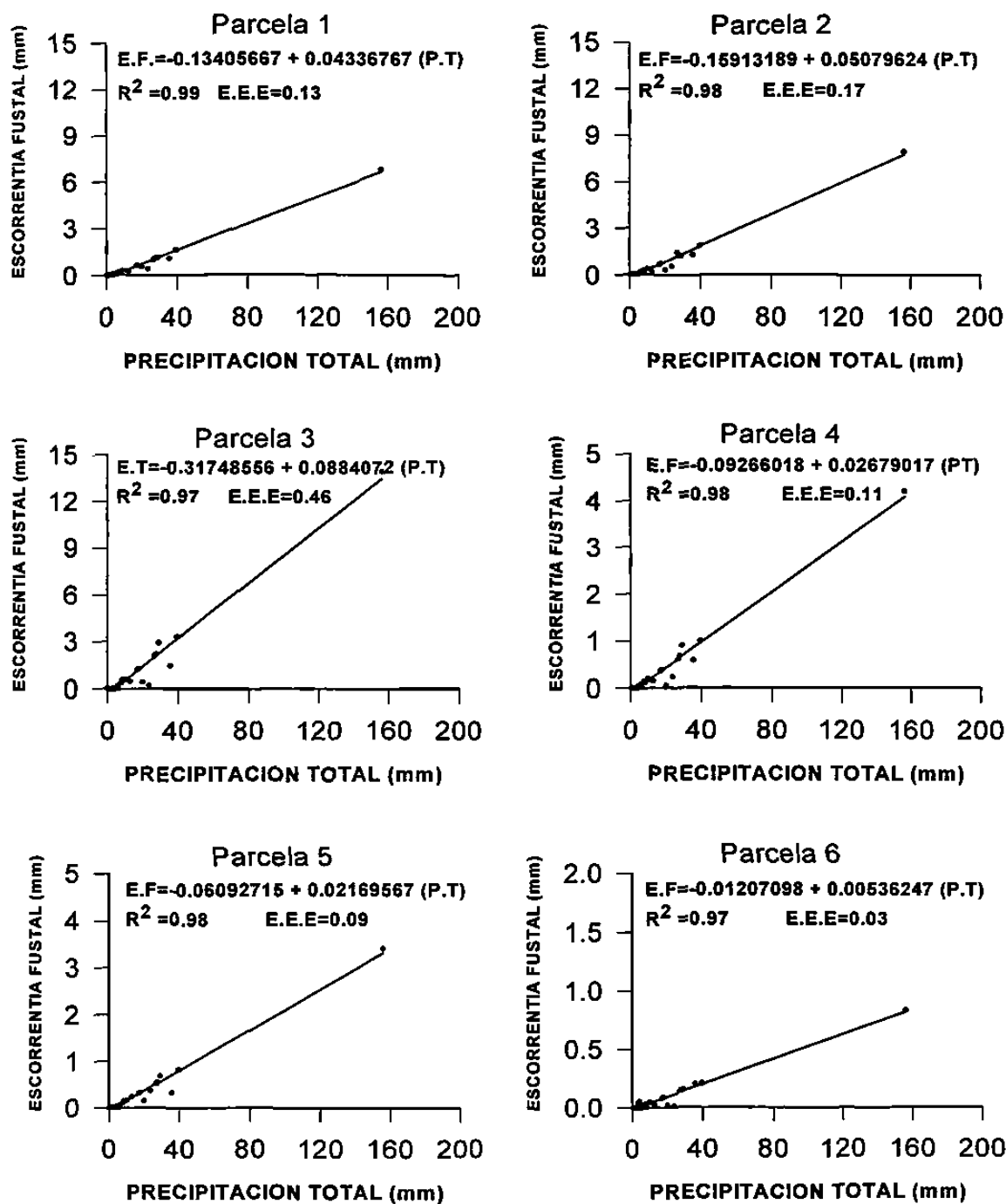


Figura 5. Relación entre el escurrimiento fustal y la precipitación total para seis parcelas de una comunidad semi-árida del nordeste de México.

### 5.1.5. Escorrentía fustal por especies

La escorrentía fustal fue estadísticamente diferente para las especies estudiadas ( $P > F = 0.0069$ ). A este respecto surgieron dos grupos de especies (Fig.6). El grupo que registró la mayor tasa está formado por las especies *A. rigidula*<sup>A</sup>, *H. pallens*<sup>A</sup>, *D. palmeri*<sup>A</sup> y *C. boissieri*<sup>AB</sup>, mientras que *Z. fragara*<sup>B</sup> y *P. laevigata*<sup>B</sup> registraron la menor tasa de escorrentía fustal. Estas diferencias se deben probablemente a que las especies del primer grupo poseen una corteza más lisa, que el resto de las especies, como fue discutido por Návar (1993) y Návar *et al.* (1994).

Otros autores han relacionado estas variaciones en términos estadísticos con el número y posición de ramas (Navar, 1993, Herwitz, 1986). Los arbustos de las especies estudiadas mostraron diferencias estadísticamente significativas *A. rigidula* ( $P > F = 0.0001$ ), *C. Hookeri* ( $P > F = 0.0001$ ), *C. boissieri* ( $P > F = 0.0001$ ), *B. celastrina* ( $P > F = 0.0001$ ), *P. pallens* ( $P > F = 0.0001$ ), *D. Palmeri* ( $P > F = 0.0001$ ), *Z. Fragara* ( $P > F = 0.0001$ ), *P. laevigata* ( $P > F = 0.0001$ ). (Fig.7.)

Las variaciones en la escorrentía fustal de los arbustos de las especies estudiadas fueron estadísticamente relacionadas con la cobertura, altura y diámetro. Para este reporte sólo se muestra el caso de *A. rigidula*, el arbusto mas común de las parcelas estudiadas (Fig.8).

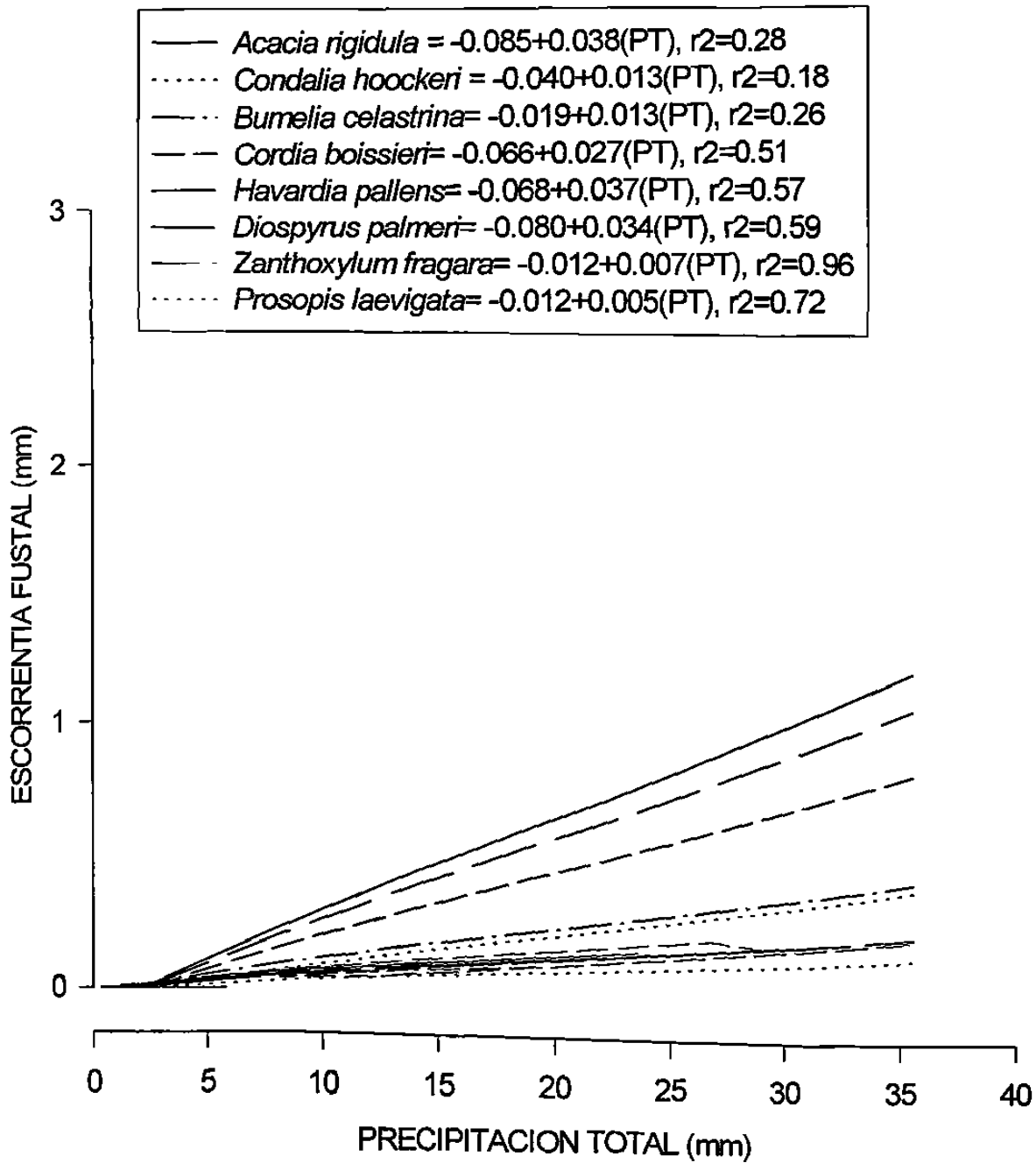


Figura 6. Variación entre especies de arbustos de una comunidad semi-árida en relación al escurrimiento fustal y la precipitación total

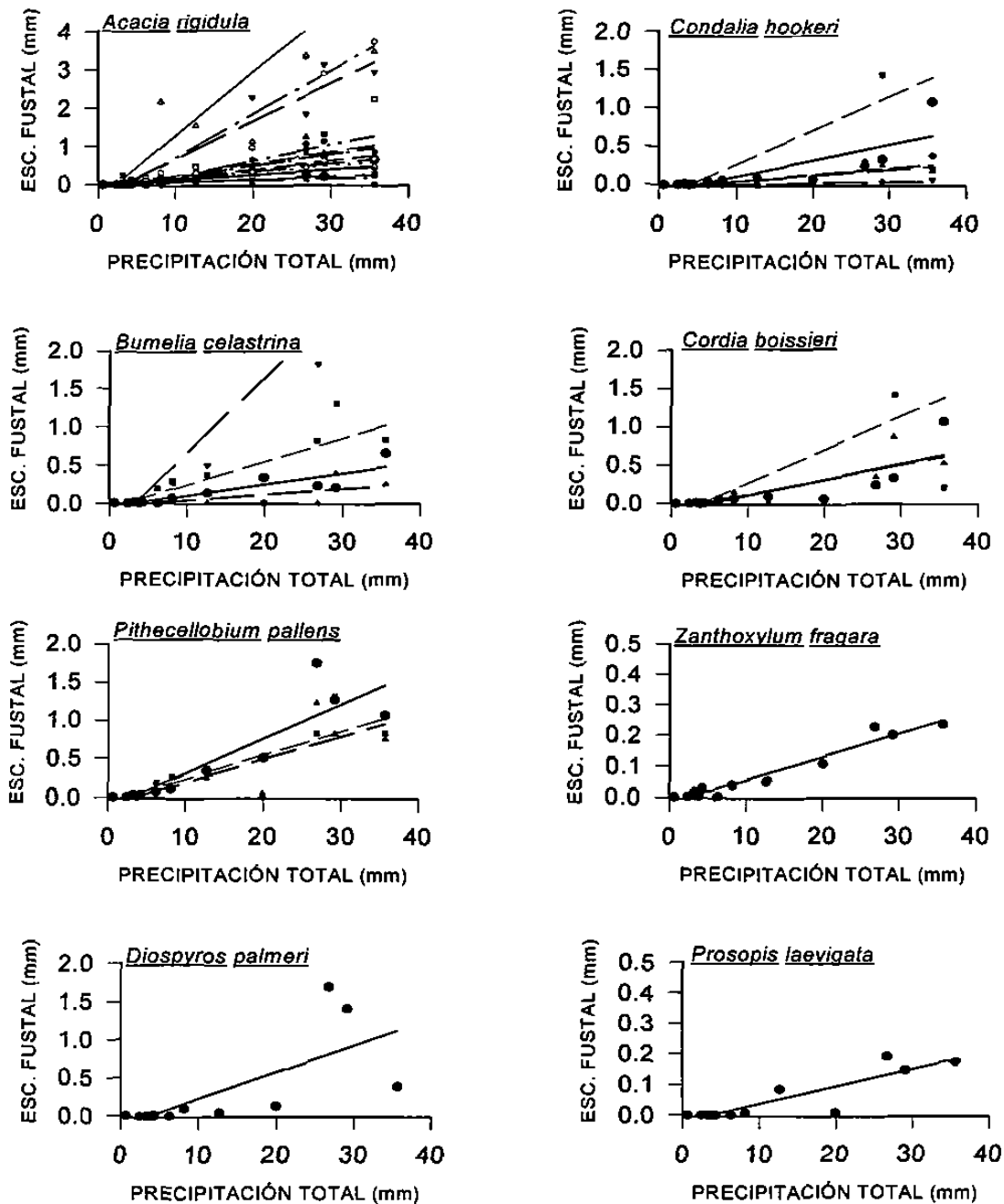


Figura 7. Relación entre el escurrimiento fustal y la precipitación total entre arbustos de 8 especies de arbustivas del matorral espinoso tamaulipeco

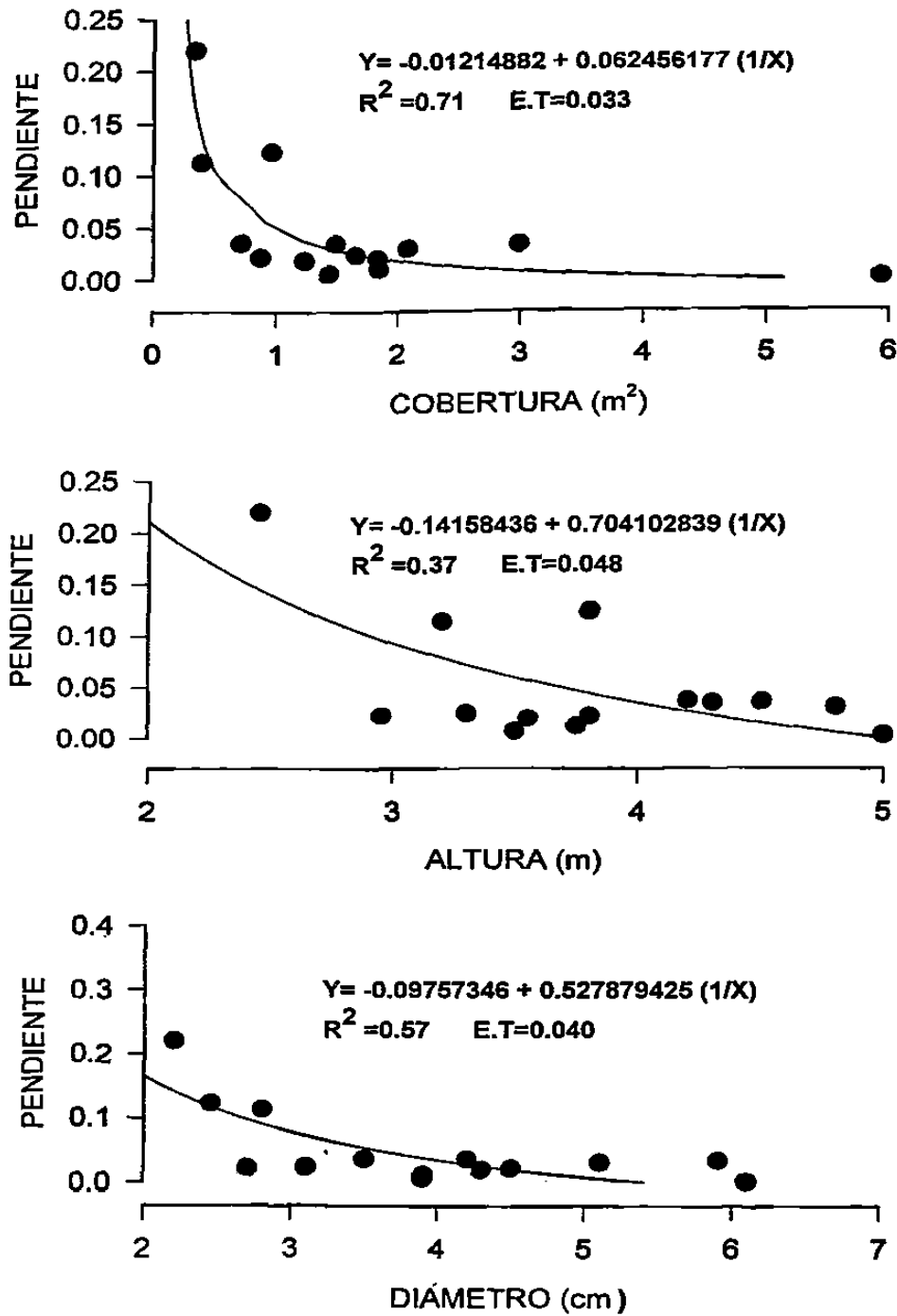


Figura 8. Relación entre la pendiente del escurrimiento fustal y 3 características dasométricas de los arbustos de *A. rigidula*.

Los modelos no lineales ajustados a las relaciones descritas, con pendientes negativas nos indican que los arbustos con coberturas menores que  $1.5 \text{ m}^2$ , diámetros menores que 4 cm y alturas menores que 4 m presentan las mayores tasas de escorrentía fustal. Este umbral es poco importante en arbustos con coberturas mayores que  $1.5 \text{ m}^2$ , diámetros mayores que 4 cm, y alturas mayores que 4 m. A este respecto se observó que los arbustos más jóvenes tienden a tener corteza más lisa y ramas más inclinadas hacia la vertical. Esto facilita la adherencia del agua y el drenaje del mismo por los tallos. Los arbustos de mayor edad presentan corteza más rugosa, lo que obstaculiza el escurrimiento y se genera goteo intermitente en las primeras etapas de la lluvia.

Busgen (1929), Hoover (1953), Voigt (1960), Eschner (1967) y Reynolds y Henderson (1967) notaron que las ramas con ángulos más agudos sobre la vertical incrementarían el escurrimiento fustal y que este patrón sería más importante en árboles jóvenes. Otro estudio realizado por Návar (1993) para explicar las causas del escurrimiento fustal en arbustos semiáridos de *Diospyros texana*, *Acacia farnesiana* y *Prosopis laevigata*, presenta relaciones estadísticamente significativas entre el número de ramas y su posición en la copa y escurrimiento fustal. Este investigador además evidenció el papel que juegan las hojas en este proceso en *D. texana*. Slatyer (1965) menciona en su estudio que los árboles de *A. Aneura* están adaptados para captar la lluvia y canalizar gran parte de ésta hacia los tallos principales.

Algunos investigadores en el pasado relacionaron las causas de variación del escurrimiento fustal con el área basal (Rutter, 1963 y Wicht, 1941), con el ángulo del

fuste (Hoover *et al.*, 1953 y Clements, 1971) y con el diámetro a la altura del pecho (Reynolds y Henderson, 1967).

El escurrimiento fustal es considerado por diversos autores como un componente de importancia hidro-ecológica para comunidades semiáridas. Slatyer (1965) reportó un 40% para *Acacia aneura*; Hamilton y Rowe (1949) registraron un 37% para una comunidad de chaparral en California. Sin embargo Návar *et al.* (1990) reportaron en este tipo de comunidades, para las especies *D. texana* un 5.6% y para *A. farnesiana* y *P. laevigata* un 0.6%. De acuerdo con la perspectiva reportada por Návar y Bryan (1990) y las observaciones de esta investigación se concluye que el escurrimiento fustal aunque no presenta porcentajes muy elevados sí contribuye notoriamente en el aumento del agua disponible en la base de los fustes.

#### 5.1.6. Intercepción.

La intercepción promedio y su desviación estándar para las parcelas estudiadas fue de 92.30 mm (18.87%) y 14.15 mm (2.8%) Las parcelas tuvieron diferencias estadísticamente significativas a la intercepción ( $P > F = 0.0001$ ) (Fig.9). La intercepción total para las parcelas fue: 97.2<sup>AB</sup> mm, 78.8<sup>B</sup> mm, 83.6<sup>AB</sup> mm, 95.2<sup>AB</sup> mm, 71.4<sup>C</sup> mm y 127.6<sup>A</sup> mm, para las parcelas 1-6, respectivamente.

La intercepción se relacionó estadísticamente con la cobertura de la vegetación existente. La ecuación de regresión lineal simple, muestra una pendiente positiva y un



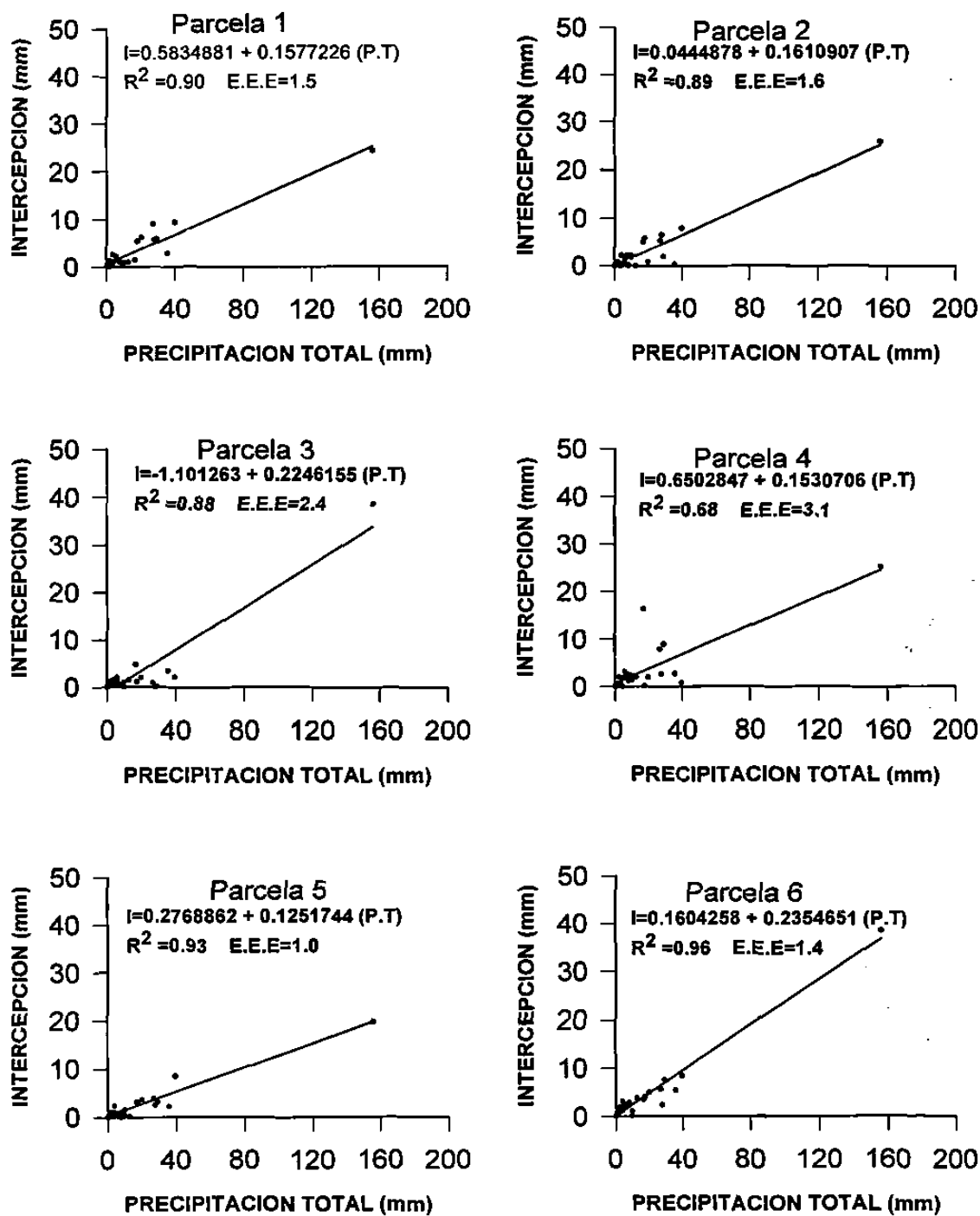


Figura 9. Relación entre la intercepción y la precipitación total para seis parcelas de una comunidad semi-árida del nordeste de México.

valor de aproximadamente 0.7 mm/mm por m<sup>2</sup> de cobertura existente. A este respecto, se observó que existe un traslape importante entre la cobertura de los arbustos y es notoria en la parcela 6 coincidente con la parcela que registró la mayor intercepción. Por otro lado, la parcela 3 posee una menor cobertura y presenta una menor tasa de intercepción.

#### **5.1.7. Ajuste del modelo analítico de Gash**

En general, el modelo analítico de intercepción se ajustó adecuadamente a los datos de la intercepción observada para las 27 lluvias registradas, así como para las 8 lluvias utilizadas para probar la bondad de ajuste del modelo. La intercepción modelada total promedio para las seis parcelas fue 94.75 mm (19.4 %). Esto es 2.65 mm (1.03%) mayor que la intercepción total promedio medida y descrita anteriormente.

Para los 27 eventos de lluvia, la intercepción total promedio observada y estimada por el modelo analítico de Gash fueron 77.39 mm (19.3%) y 76.5 mm (19.1%) respectivamente. Para los 8 eventos, la intercepción total promedio observada y modelada fueron 14.69 mm (16.6 %) y 18.21 mm (20.69%) respectivamente (Cuadro 2)

**Cuadro 2. Comparación de la intercepción observada y modelada para dos series de datos en 6 parcelas del matorral espinoso tamaulipeco.**

Parcela	27 Lluvias		8 Lluvias	
	Observada(mm)	Modelada(mm)	Observada (mm)	Modelada (mm)
1	77.49	76.64	19.66	18.30
2	62.12	66.84	16.71	15.03
3	76.33	69.75	7.25	23.07
4	88.07	87.82	7.17	18.33
5	55.51	55.10	15.85	12.78
6	104.84	102.99	21.51	21.73

En parcelas individuales, para los 27 eventos, la intercepción modelada para la parcela 3 representó el 17.43% de la lluvia total, mientras que la observada fue el 19.08%, esto es, que el modelo sobrestimó la intercepción con un 1.65%. En las demás parcelas esta desviación no sobrepasó el 1.98%. Para los 8 eventos de prueba de bondad de ajuste, las parcelas 3 y 4 mostraron desviaciones notorias (318% y 256%) de la intercepción observada. Sin embargo, para tres parcelas esta desviación no sobrepasó el 10 % de la intercepción observada.

A este respecto se observó que parcelas con valores altos de  $P'g$  y  $a$ , resultaron en sobreestimaciones de la intercepción modelada para las lluvias de prueba de bondad de ajuste (Cuadro 3). Es importante notar que el parámetro  $S$  debe ser estimado con procedimientos completamente independientes porque algunos valores sobrepasan estimaciones o mediciones realizadas en otros ecosistemas. Valores mayores que  $1.0 \text{ mm h}^{-1}$  para  $E$ , como resultado de  $a$ , han sido también raramente reportados en la

literatura. Valores de S mayores a 1 mm también son excepcionales en la literatura científica.

**Cuadro 3. Componentes de la intercepción total de la lluvia estimada por el modelo analítico de Gash para 27 lluvias para 6 parcelas del matorral tamaulipeco del nordeste de México.**

Parámetros	Parcela 1	Parcela 2	Parcela 3	Parcela 4	Parcela 5	Parcela 6
P'g	0.84	0.12	0.46	0.77	0.37	1.29
S	0.58	0.05	0.43	0.72	0.24	0.36
P	0.19	0.42	0.40	0.14	0.27	0.59
Pt	0.04	0.04	0.06	0.02	0.02	0.005
R	14.83	14.83	14.83	14.83	14.83	14.83
E	2.29	2.35	1.58	1.89	1.81	3.52
a	0.15	0.16	0.11	0.16	0.12	0.24
St	0.07	0.09	0.12	0.05	0.02	0.006
N	27	27	27	27	27	27
n>P'g	23	27	25	24	26	21
M<P'g	4	0	2	3	1	6
q>St/pt	19	19	19	19	21	21
St/pt	2.00	2.12	1.92	2.25	1.49	1.31
Pg	400.533	400.533	400.533	400.533	400.533	400.533

Comparaciones entre mediciones y estimaciones por el modelo analítico de la intercepción de la lluvia fueron hechas por Návar y Bryan (1994) en arbustos individuales de vegetación semiárida del nordeste de México, reportando que la intercepción modelada fue 0.32% menor que la observada. Návar et al. (En Revisión) observaron mejores ajustes al nivel de la comunidad vegetal, con desviaciones menores a un mm.

Estas mismas comparaciones fueron hechas en diferentes comunidades vegetales; Gash y Morton (1978), en Inglaterra, observaron que el modelo sobreestimó por 6.9 % la intercepción observada; Gash *et al.* (1980) reportó diferencias mayores en tres bosques de coníferas en Inglaterra; Pearce *et al.* (1980), en Nueva Zelandia, encontraron que el modelo sobreestimó por 3.4 % la intercepción observada.

#### 5.1.8. Análisis de errores.

El modelo demostró ser altamente sensible a las variables  $a$  y  $S$  (Cuadro 4). Las variaciones promedio de la intercepción total modelada por el cambio de cada uno de los parámetros fueron: 7.4 %, 42.12%, 3.7% y 0.2% para  $a$ ,  $S$ ,  $St$  y  $pt$ , respectivamente. La intercepción modelada total fue más sensible al parámetro  $a$  en la parcela 4 y menos sensible en la parcela 5. Para  $S$ , la intercepción total fue más sensible en la parcela 2 y menos sensible en la parcela 3. Para  $St$ , la intercepción total fue más sensible notoriamente en la parcela 3 y más comúnmente observó desviaciones menores que un 2.8%. La intercepción total fue casi insensible a  $pt$ , con desviaciones menores al 0.3.

La suma de los errores totales en mm fueron: 65 mm, 81 mm, 28 mm, 50 mm, 44. mm y 52 mm para las parcelas de la 1-6, respectivamente. Estos representaron el 16.2 %, 20.2%, 7.1 %, 12.5%, 10.9% y 12.9 % de la intercepción total modelada para las parcelas de la 1-6, respectivamente. Las desviaciones menores se observan en los parámetros que mostraron los menores intervalos de confianza, tal fue el caso de la parcela 6. Esta información nos conduce a concluir en la necesidad de estimar los parámetros con los menores errores posibles. Otra solución es la medición

independiente de los parámetros por otros procedimientos descritos en la literatura científica (Leyton et al., 1967, Stewart, 1980).

**Cuadro 4. Sensibilidad del modelo analítico de la intercepción total de Gash en 6 parcelas del matorral espinoso tamaulipeco.**

Parámetros de la Intercepción	Parcela 1 Error (mm)	Parcela 2 Error (mm)	Parcela 3 Error (mm)	Parcela 4 Error (mm)	Parcela 5 Error (mm)	Parcela 6 Error (mm)
a	7.29	8.35	5.23	12.15	4.25	7.57
S	56.251	70.11	10.43	35.14	37.17	43.44
St	1.48	2.76	12.57	2.68	2.58	0.21
Pt	0.016	0.045	0.296	0.004	0.011	0.77

## **B) BOSQUES DEL NORDESTE DE MÉXICO**

### **5.1.9. Precipitación total**

La precipitación total medida durante el periodo de estudio en los rodales de pino, encino y pino-encino fue de 462.956 mm, 474.661 mm y 498.877 mm, respectivamente; para un total de 39 lluvias registradas. En general las lluvias menores de 5 mm representaron el 33.33%, entre 10 y 40 mm el 61.55% y mayores que 50 mm el 5.12 % del total.

#### **5.1.1.0. Precipitación neta**

La precipitación neta total promedio para los rodales de pino, encino y pino-encino no mostraron diferencias estadísticamente significativas ( $P>F=0.6500$ ) y fueron de 382.22<sup>a</sup> mm (82.56 %), 388.14<sup>a</sup> mm (81.77%) y 419.72<sup>a</sup> mm (84.13%), respectivamente (Fig. 10).

#### **5.1.1.1. Precipitación bajo la cobertura arbustiva**

La precipitación bajo la cobertura arbustiva promedio total para los rodales de pino, encino y pino-encino tampoco mostraron diferencias estadísticamente significativas ( $P>F=0.7301$ ) y fue de 381.11<sup>a</sup> mm, (82.32%), 384.62<sup>a</sup> (81.03%) y 416.19<sup>a</sup> mm (83.43%), respectivamente (Fig. 11).

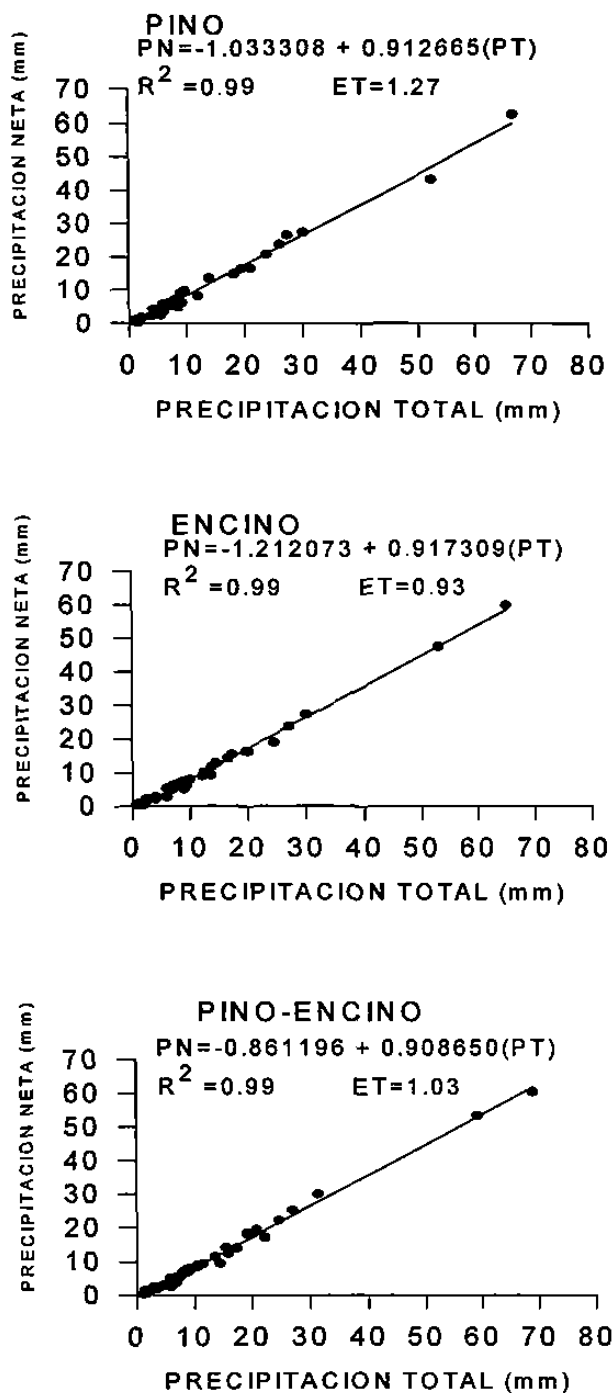


Figura 10. Relación entre la precipitación neta y la precipitación total en tres tipos de bosques del nordeste de México.



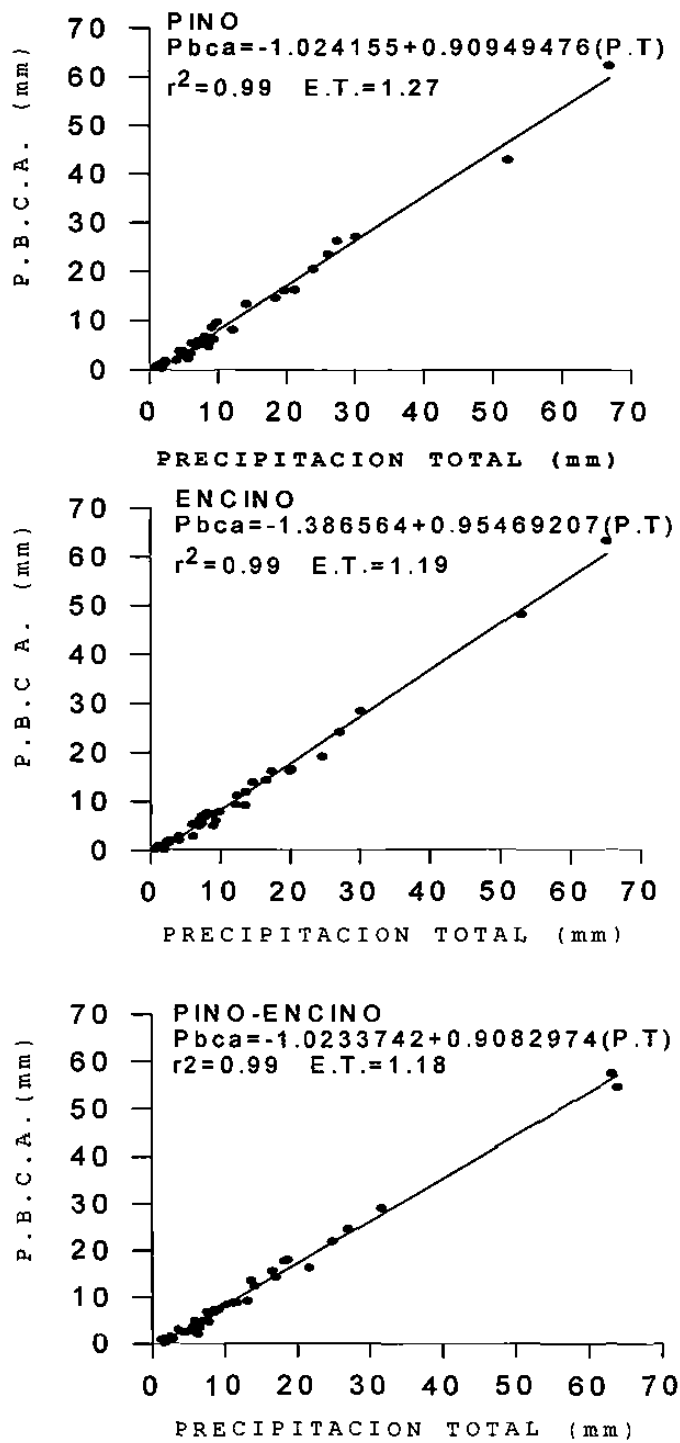


Figura 11. Relación entre la precipitación bajo la cobertura arbustiva y la precipitación total en tres tipos de bosques del nordeste de México.

El porcentaje de la lluvia bajo la cobertura arbustiva obtenida en esta investigación es similar a la observada en otras investigaciones en ecosistemas forestales de coníferas, Santa Regina *et al.* (1989) reporta un 88% para *Pinus sylvestris* en España; Cape *et al.* (1991) observó porcentajes desde 51% hasta 78% para la misma especie; Huber y Oyarzun (1990) reportan para un rodal maduro de *Pinus radiata* un 73.6%.

En el caso de rodales de encinares, los porcentajes no se desviaron demasiado de los obtenidos en otras investigaciones, Sood *et al.* (1993) quienes reportaron para *Q. Leucotrichophora* un 70.57 %, Nizinski *et al.* (1989) observó en un rodal de *Q. Petraea* un 70.6%. Tampoco se desviaron mucho de los porcentajes obtenidos en otros ecosistemas forestales: Jiang *et al.* (1993) en un ecosistema forestal en Hubei, China obtuvo 73.1% y Sinun *et al.* (1992) registró para un bosque lluvioso en Sabah, Malasya un promedio de 80.7%.

#### 5.1.1.2. Esgurrimiento fustal.

El esgurrimiento fustal total promedio observado en los rodales de pino, encino y pino-encino mostraron diferencias estadísticamente significativas ( $P > F = 0.0001$ ) y fue de 1.11<sup>b</sup> mm (0.24%), 3.52<sup>a</sup> mm (0.74%) y 3.52<sup>a</sup> mm (0.71%), respectivamente (Fig.12) Las tasas de ecorrentía mayores en el rodal de encino y pino-encino se pueden explicar por la corteza más lisa en comparación con la corteza más rugosa de la especie de pino, esto facilita la adherencia del fluido y su posterior canalización hacia el fuste principal

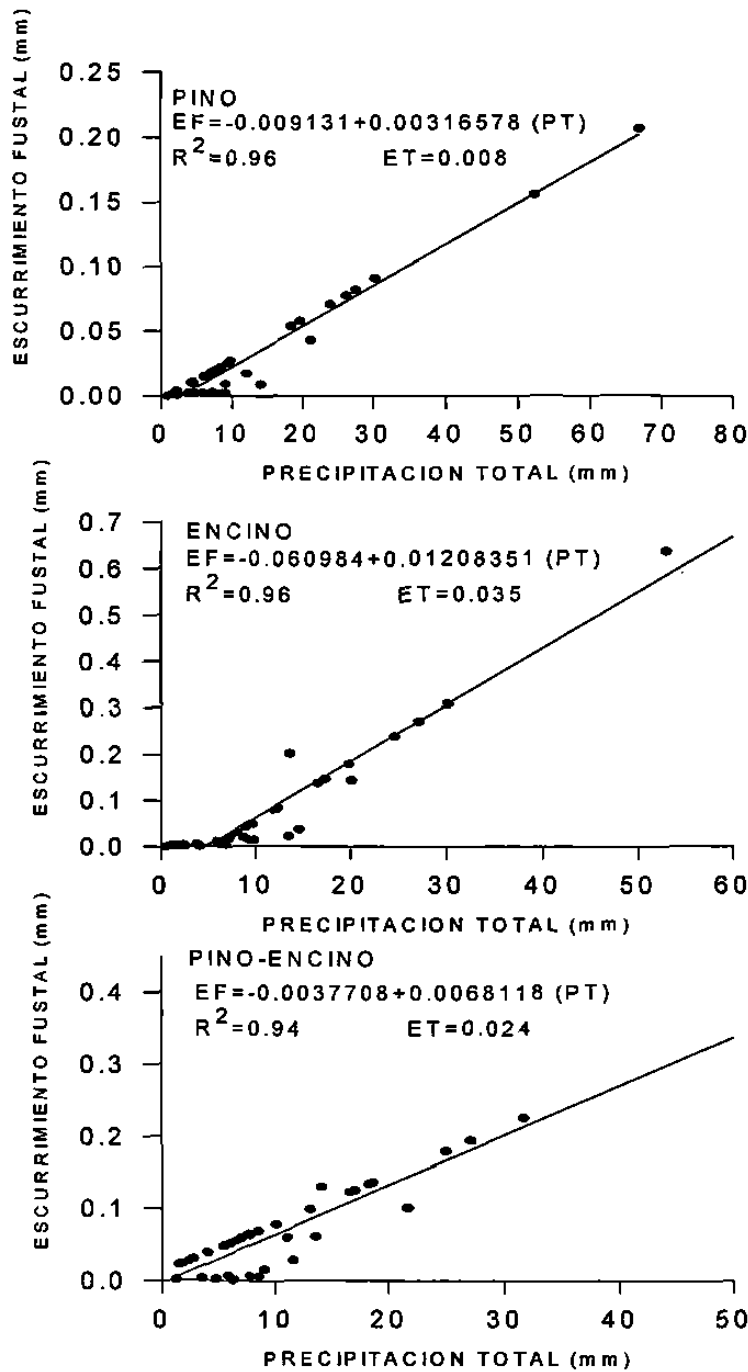


Figura 12. Relación entre el escurrimiento fustal y la precipitación total en tres tipos de bosques del nordeste de México

### 5.1.1.3. Escorrentía fustal entre las especies

La escorrentía fustal fue estadísticamente diferente para los árboles de *P. pseudostrobus* ( $P > F = 0.0106$ ) (Fig. 13). Los árboles de *Quercus* también mostraron diferencias estadísticamente significativas entre sí a la escorrentía fustal ( $P > F = 0.0001$ ) (Fig. 14), lo que no sucedió entre los árboles del rodal de pino-encino ( $P > F = 0.23031$ ).

Las variaciones en la escorrentía fustal de los árboles de las especies estudiadas se relacionaron estadísticamente con la cobertura, altura y diámetro normal. Los modelos lineales y no lineales ajustados a las relaciones descritas, nos indican que los árboles de la especie *P. pseudostrobus* con coberturas menores que 22 m<sup>2</sup>, diámetros menores que 36 cm y alturas menores que 16 m presentan las mayores tasas de escorrentía fustal.

Los árboles de las tres especies de encino localizadas dentro de los rodales (*Q. canby*, *Q. cupreata* y *Q. laeta*) mostraron también relaciones similares siendo los árboles con coberturas menores de 19 m<sup>2</sup> y diámetros menores de 19 cm los que presentaron las mayores tasas de escorrentía fustal. La altura en los encinos no mostró ninguna relación estadística con respecto al escurrimiento fustal. Los árboles más jóvenes presentan la mayor escorrentía fustal y esta disminuye a medida que aumenta la edad. Esto puede ser explicado a que los árboles de menor edad presentan un fuste con una corteza más lisa y ramas más inclinadas hacia la vertical, lo que facilita la adherencia del agua y contribuye a aumentar el drenaje hacia los fustes, mientras que

- Pino1=-0.001419+0.002117(PT),  $r^2=0.60$
- - Pino2=-0.019537+0.006689(PT),  $r^2=0.50$
- - - Pino3=-0.008721+0.003752(PT),  $r^2=0.56$
- ..... Pino4=-0.006948+0.003319(PT),  $r^2=0.50$
- · — Pino5=-0.003252+0.001975(PT),  $r^2=0.40$
- · - Pino6=-0.001579+0.001353(PT),  $r^2=0.40$

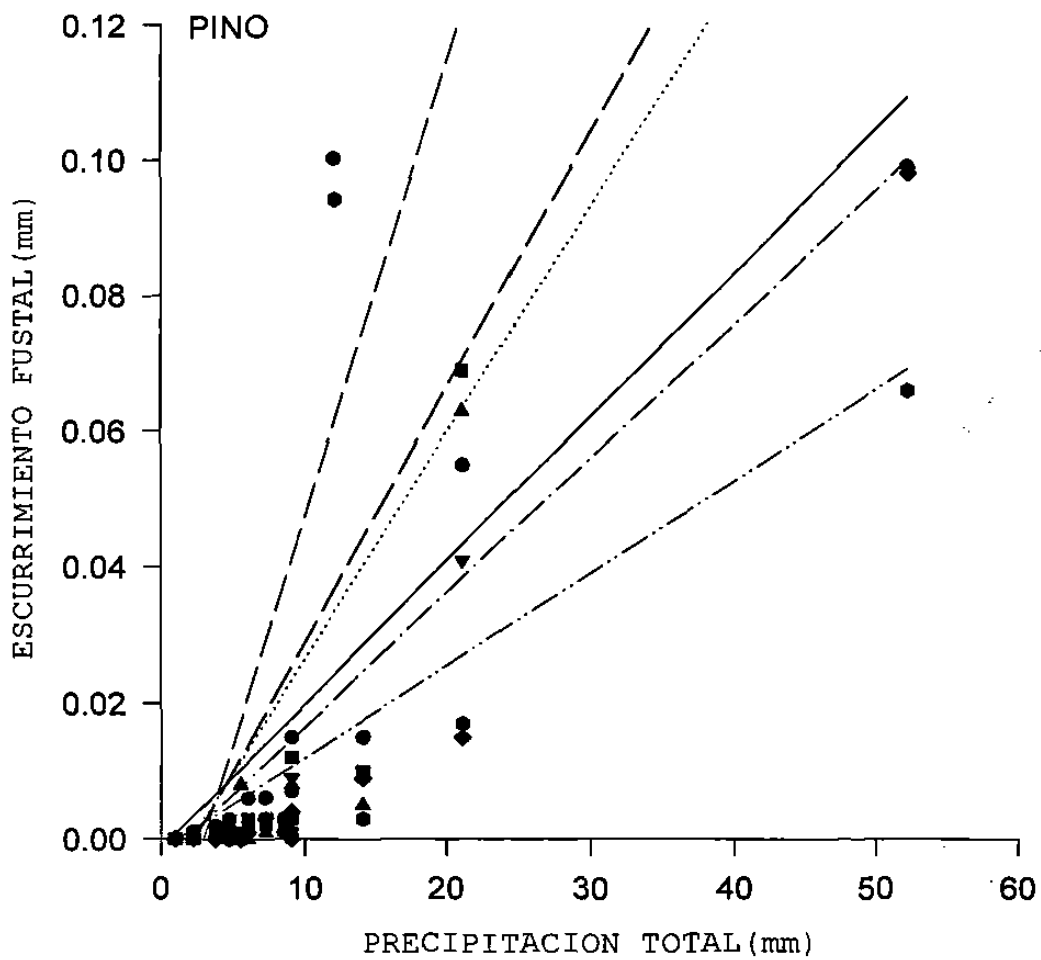


Figura 13. Variación entre el escurrimiento fustal y la precipitación total entre arboles de *P. pseudostrabus*.

- Encino1= $-0.024591+0.004185(PT)$ ,  $r^2=0.93$
- - - Encino2= $-0.096213+0.016376(PT)$ ,  $r^2=0.93$
- · - Encino3= $-0.045224+0.007519(PT)$ ,  $r^2=0.87$
- · · Encino4= $-0.023849+0.004129(PT)$ ,  $r^2=0.93$
- · - Encino5= $-0.146619+0.025204(PT)$ ,  $r^2=0.93$
- · - Encino6= $-0.098368+0.018472(PT)$ ,  $r^2=0.85$

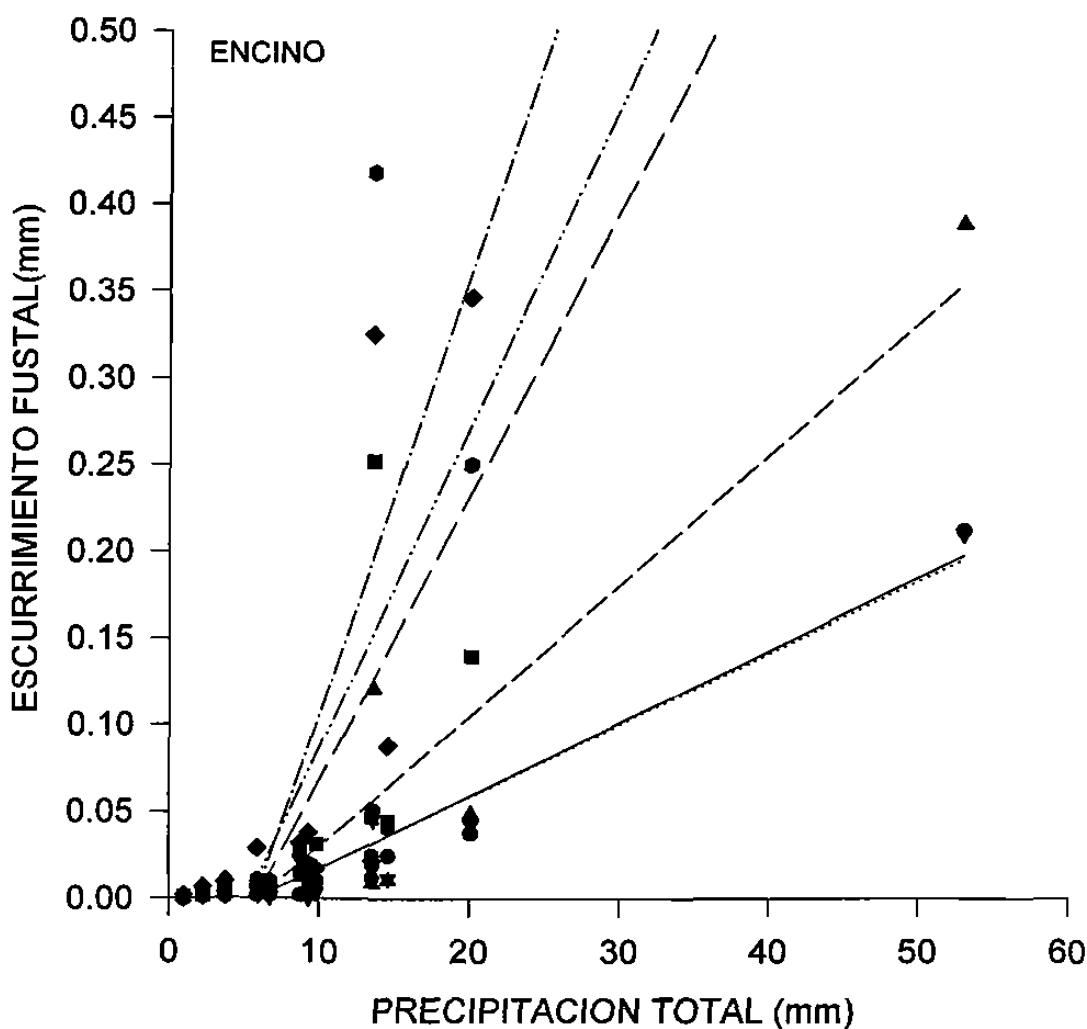


Figura 14. Variación del escurrimiento fustal y la precipitación total entre árboles de 3 especies de encinos de la Sierra Madre Oriental

árboles con cortezas más rugosas dificultan la adherencia del fluido.

Como ya se mencionó anteriormente, diversos autores (Busgen, 1929., Hoover, 1953., Voigt, 1960., Eschner, 1967 y Reynolds y Henderson, 1967) han señalado que árboles con las ramas dispuestas en ángulos más agudos sobre la vertical incrementarían el escurrimiento fustal y que este patrón sería más importante en árboles jóvenes.

El escurrimiento fustal en los ecosistemas forestales ha sido objeto de numerosos estudios en diferentes tipos de rodales con diferentes especies y se han observado variaciones importantes. Viville *et al.* (1993) observaron 0.5 % para un rodal de *Picea abies*, Nizinski y Saugier (1989) reportaron para *Quercus petraea* un 0.6 %, Mugnozsa *et al.* (1988) observaron para *Q. cerris* un 7 %, Tang (1993) reporta para un bosque de *Pinus spp* un 4.3 %, para *Q. Petrea* y otras especies de hoja ancha, Caper *et al.* (1991) reportó un 9-10%.

#### 5.1.1.4. Intercepción

La intercepción promedio no mostró diferencias estadísticamente significativa entre los tipos de bosques ( $P>F=0.6405$ ) y fue para pino, encino y pino-encino de 80.73<sup>a</sup> mm (17.44 %), 86.52<sup>a</sup> mm (18.23%) y 79.16<sup>a</sup> mm (15.87%) respectivamente (Fig.15). La intercepción observada para los tres rodales en esta investigación es similar a la estimada en otros estudios en este tipo de ecosistemas. Jiang *et al.* (1993) reportaron

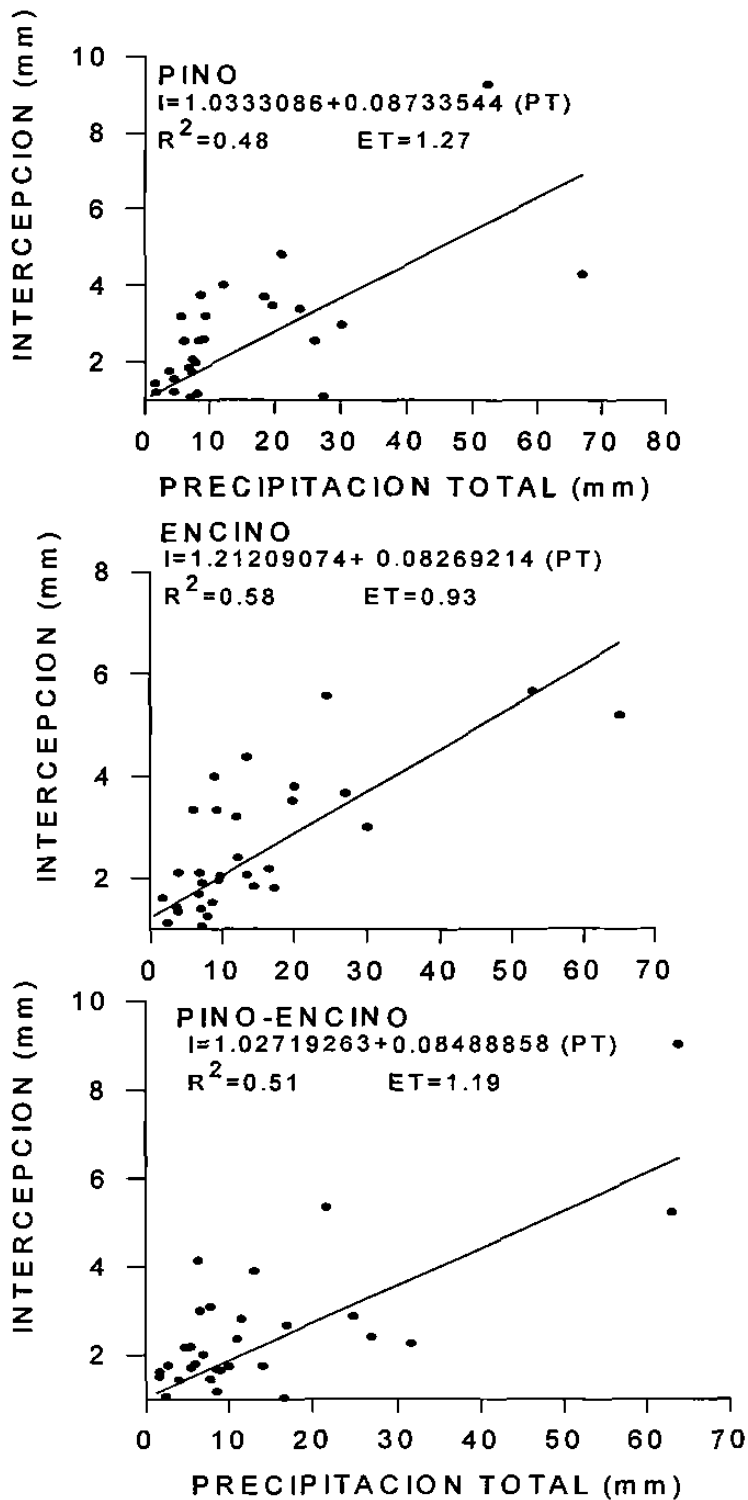


Figura 15. Relación entre la intercepción y la precipitación total en tres tipos de bosques del nordeste de México.



para un bosque de hojosas una intercepción de 19.5 %, en el caso de rodales de encinos, Nizinski y Saugier (1989) reportan para *Q. Petraea* una intercepción de 28.8%, Huber y Oyarzun (1990) observaron en un rodal de *Pinus radiata* un 15.34%. En el caso de ecosistemas tropicales también fue similar, Sinun *et al.* (1992) observaron en un bosque lluvioso una intercepción de 17.4%.

#### 5.1.1.5. Ajuste del modelo analítico de Gash

En general, el modelo analítico de intercepción de Gash se ajustó adecuadamente a la intercepción observada para las 29 lluvias registradas, y para las 10 lluvias utilizadas en la validación del modelo. La intercepción observada y modelada en general para los 29 eventos para los tres rodales en total fue 65.87mm y 61.16mm, respectivamente. Para los 10 eventos de bondad de ajuste fue 19.598 mm y 19.522 mm, respectivamente.

Para los 29 eventos de lluvia, la intercepción total promedio observada y estimada por el modelo analítico de Gash para los tres rodales de pino, encino y pino-encino fueron 61.31% y 58.45%, 62.49% y 61.29%, 73.79% y 69.82% de la lluvia total, respectivamente. Para los 10 eventos, la intercepción total observada y modelada para los tres rodales fueron 19.42% y 18.91%, 24.03% y 16.45%, 15.35% y 14.82%, de la lluvia total, respectivamente (Cuadro 2).

**Cuadro 5. Comparación de la intercepción observada y modelada para dos series de datos en 3 tipos de bosques en la Sierra Madre Oriental.**

Rodal	29 Lluvias		10 Lluvias	
	I.Observada (mm)	I.Modelada (mm)	I. Observada	I. Modelada (mm)
Pino	61.310	58.450	19.422	18.911
Encino	62.497	61.298	24.026	16.452
Pino-encino	73.798	69.828	15.347	14.818

Para los 29 eventos, la intercepción modelada para el rodal de pino representó el 15.52 % de la lluvia total, mientras que la observada fue el 16.28 %, el modelo subestimó la intercepción con un 0.76%. Para el caso del rodal de encino la intercepción observada y modelada fue el 20.75 % y 20.35 % de la lluvia total, respectivamente, subestimándola con un 0.4 % y el rodal de pino-encino tuvo intercepciones observadas y modeladas de 16.53% y 15.67%, respectivamente, subestimándola con un 0.86 %. Para los 10 eventos de lluvia de prueba de bondad de ajuste, el rodal de encino mostró la desviación más notoria (4.37%) de la intercepción observada. Los dos rodales restantes mostraron desviaciones no mayores al 0.6 % de la lluvia total.

Los parámetros del modelo indicaron que los rodales presentan valores diferentes en  $P'g$  pero no tanto en  $a$  (Cuadro 3). Es importante notar que  $a$  debe ser estimado con procedimientos independientes porque algunos valores sobrepasan estimaciones o mediciones realizadas en otros ecosistemas. Valores mayores que  $1.0 \text{ mm h}^{-1}$  para  $E$ , como resultado de  $a$ , han sido raramente reportados en la literatura y no poseen fundamentos físicos basados en balances de la energía disponible para evaporar.

El modelo de Gash es popular entre la comunidad científica (Gash *et al.*; 1980; Pearce y Rowe, 1980; Rowe, 1983; Dolman, 1987). Loustau *et al.* (1992) reportaron que la intercepción fue más alta con la mayor intensidad de la lluvia. Loustau *et al.* (1992) aplicaron el modelo analítico a un rodal de *Pinus pinaster* y demostró que la intercepción es más dependiente de los parámetros climáticos durante la lluvia y menos de los parámetros estructurales del bosque.

Otras comparaciones entre las intercepciones observadas y modeladas fueron realizadas en diferentes comunidades vegetales. Gash y Morton (1978), en Inglaterra, observaron que el modelo sobreestimó en 6.9 % la intercepción observada. Gash *et al.* (1980) reportaron diferencias mayores en tres bosques de coníferas en Inglaterra. Pearce *et al.* (1980), en Nueva Zelanda, encontraron que el modelo sobreestimó por 3.4% la intercepción observada.

**Cuadro 6. Componentes de la intercepción total de la lluvia estimada por el modelo analítico de Gash para 29 lluvias en tres tipos de bosques de la Sierra Madre Oriental.**

Parámetros	Pino	Encino	Pino-encino
P'g	1.817	1.216	0.928
S	0.957	0.972	0.794
P	0.424	0.131	0.083
Pt	0.003	0.012	0.007
R	12.985	10.386	13.932
E	1.157	1.183	1.508
A	0.089	0.114	0.108
St	0.009	0.056	0.006
N	29	29	29
n>P'g	26	27	29
M<P'g	3	2	0
q>St/pt	24	20	29
St/pt	3.135	4.695	0.905
Pg	376.572	301.197	446.314

#### 5.1.1.6. Análisis de sensibilidad

El modelo demostró ser altamente sensible a los parámetros a y S (Cuadro 7). Las variaciones promedio de la intercepción total modelada por el cambio de cada uno de los parámetros fueron: 12.7%, 53.0%, 1.0% y 0.01% para a, S, St y pt, respectivamente. La intercepción modelada total fue más sensible al parámetro a en el rodal de pino-encino y menos sensible en el rodal de pino. Para S, la intercepción total fue más sensible en el rodal de pino y menos sensible en el rodal de encino. Para St, la intercepción total fue más sensible notoriamente en el rodal de pino-encino pero

comúnmente tuvo desviaciones menores que un 1.2%. La intercepción total fue casi insensible a pt, con desviaciones menores al 0.03%.

**Cuadro 7. Sensibilidad del modelo analítico de la intercepción total de Gash para 3 tipos de bosques de la Sierra Madre Oriental.**

Parámetros de la intercepción	Rodal de encino		
	Valor promedio	Valores nuevos	Error (mm)
Tasa de intercepción (mm mm <sup>-1</sup> )	0.114	0.148	9.675
Saturación de copas (mm)	0.972	2.832	42.249
Tasa de almacenamiento de fustes y ramas (mm)	0.056	0.138	1.202
Proporción de escorrentía fustal (mm mm <sup>-1</sup> )	0.012	0.013	0.027

Parámetros de la intercepción	Rodal de pino		
	Valor promedio	Valores nuevos	Error (mm)
Tasa de intercepción (mm mm <sup>-1</sup> )	0.089	0.126	12.958
Saturación de copas (mm)	0.956	3.911	58.48
Tasa de almacenamiento de fustes y ramas (mm)	0.009	0.028	0.341
Proporción de escorrentía fustal (mm mm <sup>-1</sup> )	0.0032	0.0034	0.0001

Parámetros de la intercepción	Rodal de pino-encino		
	Valor promedio	Valores nuevos	Error (mm)
Tasa de intercepción (mm mm <sup>-1</sup> )	0.1085	0.1445	15.563
Saturación de copas (mm)	0.794	3.559	58.363
Tasa de almacenamiento de fustes y ramas (mm)	0.009	0.035	1.515
Proporción de escorrentía fustal (mm mm <sup>-1</sup> )	0.007	0.0075	0.001

La suma de los errores totales fueron: 53.15 mm, 71.78 mm y 75.44 mm, para los rodales de pino, encino y pino-encino, respectivamente. Estos representaron el 91%, 117% y 108% de la intercepción total modelada para los mismos rodales. La medición de los parámetros independientemente por medio de otros procedimientos reportados en la literatura científica (Leyton et al., 1967, Stewart, 1979) podría ser otra posible solución, la estimación de la intercepción total con mejor precisión y menores variaciones.

## CAPÍTULO VI

### 6.1. DISCUSIÓN GENERAL

La precipitación total medida durante el periodo de estudio en ambas localidades tanto en el matorral espinoso tamaulipeco como en los rodales ubicados en el bosque-escuela, fue similar, sin embargo la distribución de las lluvias, cantidad de precipitación por evento e intensidad mostraron grandes variaciones. En el caso de la comunidad semi-árida el mayor porcentaje de las lluvias que se registraron fueron de lluvias con precipitaciones menores a 5 mm, estas representaron el 51 % del total, mientras que en la comunidad del bosque de la Sierra Madre el mayor porcentaje estuvo representado por lluvias entre 10 y 40 mm con un 62%, esto explicaría las posibles diferencias en las tasas de intercepción, escorrentía fustal y precipitación bajo la cobertura arbustiva, como ha sido sugerido por diferentes investigadores.

La precipitación neta observada para las cuatro comunidades no se desvió demasiado de la reportada por otros investigadores en diferentes tipos de ecosistemas, esto mismo se observó para la precipitación bajo la cobertura arbustiva. Ambos componentes de la intercepción no mostraron diferencias estadísticamente significativas ( $P > F = 0.6500$ ) en las 4 comunidades estudiadas. Sin embargo la precipitación bajo la cobertura arbustiva entre la comunidad del matorral y los tres tipos de bosques si mostró diferencias estadísticamente significativas ( $P > F = 0.0001$ ). Las comunidades estudiadas presentaron tasas diferentes de precipitación bajo la cobertura arbustiva, las mayores tasas fueron para los rodales de encino<sup>A</sup>, pino<sup>A</sup>, pino-encino<sup>AB</sup>, para el caso del matorral

fueron siguiendo este orden, la parcela 5<sup>B</sup>, parcela 4<sup>BC</sup>, parcela 1<sup>BC</sup>, parcela 2<sup>BC</sup>, las menores tasas fueron para parcela 6<sup>C</sup> y la parcela 3<sup>D</sup> (Fig. 16). El escurrimiento fustal promedio total observado entre las seis parcelas de la comunidad del matorral espinoso tamaulipeco y los tres rodales de pino, encino y pino-encino fue estadísticamente diferente ( $P>F=0.0001$ ). Las tasas de escurrimiento registradas en las comunidades estudiadas muestran una gran variación, en el caso del matorral espinoso tamaulipeco la tasa total promedio observada fue de 3.01% con respecto a la precipitación total, mientras que las tasas observadas para los rodales de pino, encino y pino-encino fueron de 0.24, 0.74 y 0.71% de la precipitación total. Comparando las tasas de escurrimiento fustal entre las seis parcelas y los tres rodales, se observa que las mayores tasas de escurrimiento fustal se presentaron en la parcela 3<sup>A</sup>, parcela 2<sup>B</sup>, parcela 1<sup>C</sup>, parcela 4<sup>D</sup>, parcela 5<sup>E</sup>, las menores tasas se observaron en encino<sup>F</sup>, pino-encino<sup>G</sup>, parcela 6<sup>G</sup> y pino<sup>G</sup> (Fig. 17).

La mayor tasa de escurrimiento fustal observada para las parcelas del matorral espinoso tamaulipeco con respecto de la observada en los rodales (a excepción de la parcela 6) nos demuestra las diferencias que existen entre las posibles adaptaciones de la vegetación de esta comunidad con respecto a la canalización de la precipitación hacia el tallo principal y posteriormente llegar al suelo y ser aprovechada por las raíces, que se localizan preferencialmente debajo de los fustes. Esta importancia hidro-ecológica del escurrimiento fustal en comunidades vegetales áridas y semiáridas ha sido reportado por diferentes investigadores (Specht, 1957; Glover y Gwynne, 1962; Slatyer, 1965; Pressland, 1973, Kovda *et al*; 1979; Goodall, 1965 y Návar y Bryan, 1990).

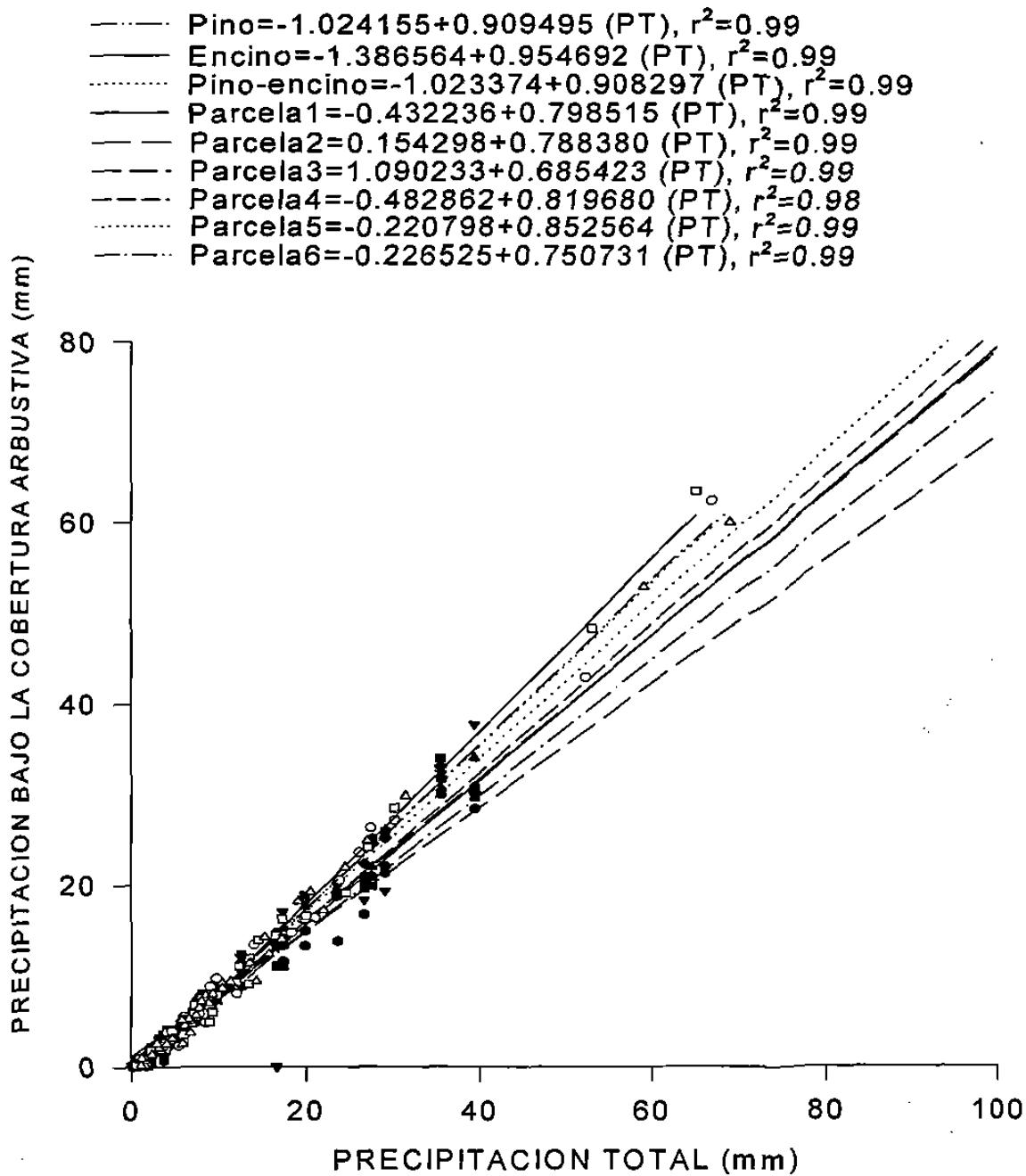


Figura 16. Relación entre la precipitación bajo la cobertura arbustiva y la precipitación total entre los rodales de pino, encino, pino-encino y las seis parcelas del matorral espinoso tamaulipeco



- Pino= $-0.009131+0.0031658$  (PT),  $r^2=0.96$
- Encino= $-0.057146+0.012117$  (PT),  $r^2=0.95$
- ..... Pino-encino= $0.003947+0.006759$  (PT),  $r^2=0.98$
- Parcela1= $-0.134057+0.043368$  (PT),  $r^2=0.99$
- Parcela2= $-0.159132+0.050796$  (PT),  $r^2=0.98$
- Parcela3= $-0.317486+0.088407$  (PT),  $r^2=0.97$
- Parcela4= $-0.092660+0.026790$  (PT),  $r^2=0.98$
- ..... Parcela5= $-0.060927+0.021696$  (PT),  $r^2=0.98$
- Parcela6= $-0.012071+0.005362$  (PT),  $r^2=0.97$

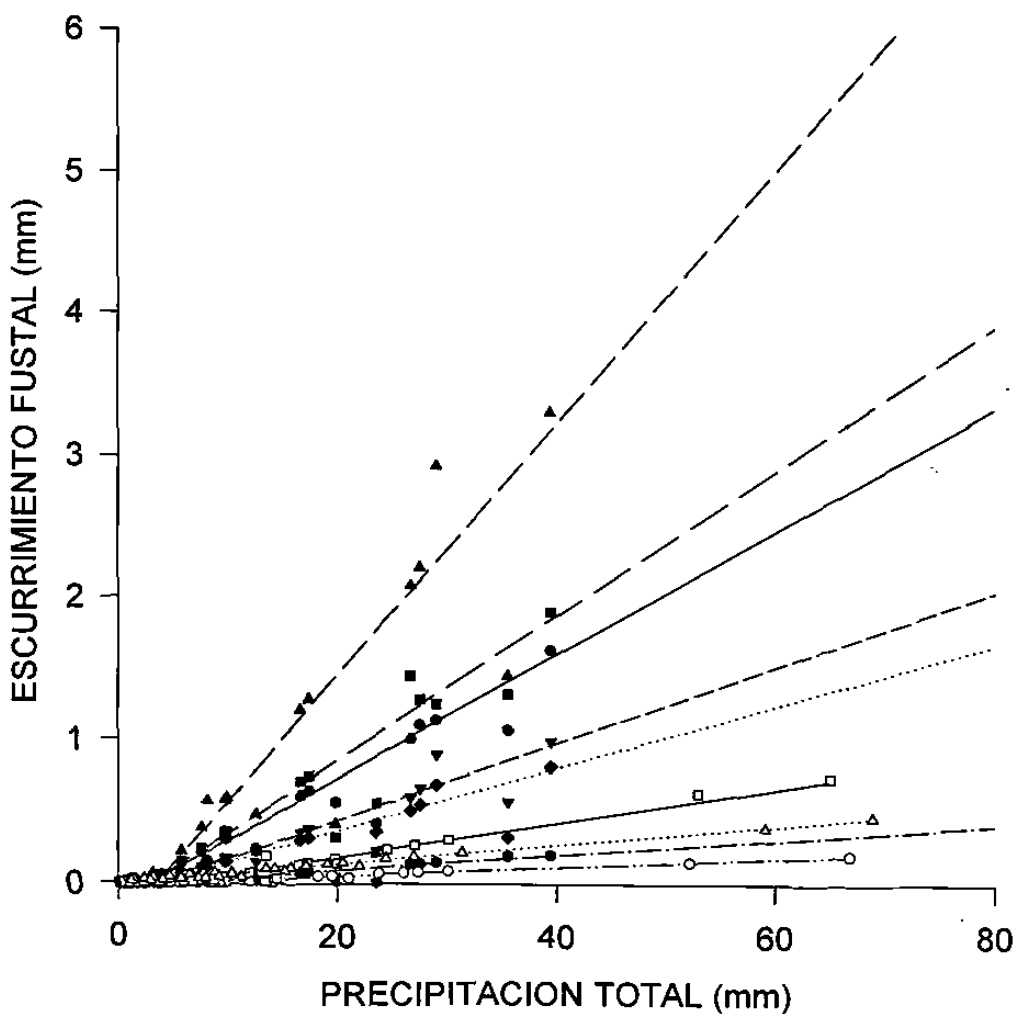


Figura 17. Relación entre el escurrimiento fustal y la precipitación total entre los rodales de pino, encino, pino-encino y las seis parcelas del matorral espinoso tamaulipeco

Los arbustos de la comunidad semiárida están posiblemente más adaptados para aprovechar las escasas lluvias que se presentan a lo largo del año ya que la gran mayoría de ellas son lluvias de poca intensidad con cantidades menores a los 5 mm, estas adaptaciones están en función de una corteza más lisa y con el número y posición de ramas (Návar, 1993, Návar *et al* 1994, Herwitz, 1986), mayormente inclinadas hacia la vertical. Esto mismo se observó en el caso de los rodales de pino, encino y pino-encino ya que las mayores tasas de escorrentía fustal correspondieron a los rodales de encino y pino-encino, estas especies poseen un fuste más liso en comparación con la especie de pino, así como hojas de mayor tamaño y posición y ángulo de ramas.

En las cuatro comunidades, el escurrimiento fustal mostró estar relacionado fuertemente con las características de la vegetación tales como el nivel de cobertura, la altura y el diámetro normal así como con la etapa de crecimiento de los árboles y arbustos. Los modelos no lineales ajustados a las relaciones anteriores, con pendientes negativas, nos indicaron que a menor cobertura, altura y diámetro existen mayores tasas de escorrentía fustal, en base a esta relación nos muestra que son los árboles y arbustos más jóvenes son los que presentan las mayores tasas de escorrentía y estos fueron observados a tener corteza mas lisa y ramas mas inclinadas hacia la vertical. Esta relación ha sido señalada por observaciones visuales por diferentes investigadores (Busgen, 1929; Hoover, 1953; Voigt, 1960; Eschner, 1967 y Reynolds y Henderson, 1967).

La intercepción mostró diferencias estadísticamente significativas entre las seis parcelas del matorral espinoso tamaulipeco y los rodales de pino, encino y pino-encino ( $P > F = 0.0024$ ). Las tasas de intercepción mayores se registraron para la parcela 6<sup>A</sup>, parcela 3<sup>B</sup>, parcela 2<sup>C</sup>, parcela 1<sup>C</sup>, parcela 4<sup>C</sup>, parcela 5<sup>CD</sup>, pino-encino<sup>D</sup>, pino<sup>D</sup> y encino<sup>D</sup> (Figura 18). Los promedios totales para las localidades estudiadas no se alejaron de los obtenidos por otros investigadores en diferentes tipos de ecosistemas (Smith, 1974; Thurow *et al.*, 1987; Sinun *et al.*, 1992; Jiang *et al.*, 1993; y Nívar y Bryan, 1994).

La intercepción promedio entre las parcelas de la comunidad del matorral tuvieron diferencias estadísticamente significativas ( $P > F = 0.0001$ ), sin embargo entre los bosques de la Sierra Madre Oriental esta no fue estadísticamente significativa ( $P > F = 0.7031$ ), esto es explicado por la composición homogénea de especies y estructura de los bosques de la Sierra Madre, mientras que en las parcelas del matorral se observa una composición estratificada de copas, así como una mayor diversidad de especies, esto también fue demostrado por la relación estadística que mostró la intercepción con la cobertura de la vegetación existente en esta comunidad. Con respecto a esto se observó que existe un traslape importante entre la cobertura de los arbustos y esto es demostrado por los resultados obtenidos en esta investigación.

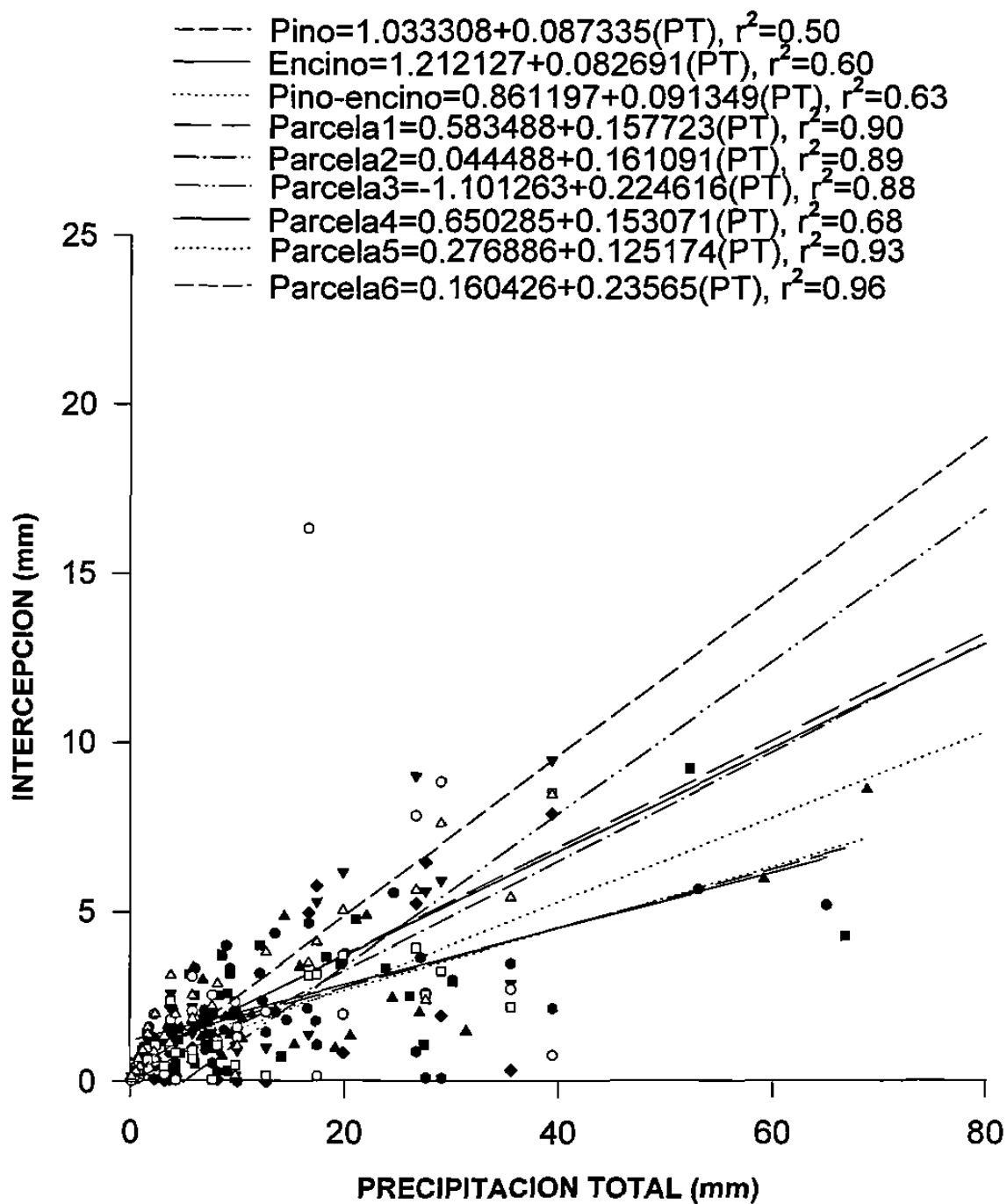


Figura 18. Relación entre la intercepción y la precipitación total entre los rodales de pino, encino, pino-encino y las seis parcelas del matorral espinoso tamaulipeco

El modelo analítico de Gash en las cuatro comunidades en general se ajustó adecuadamente a los datos de la intercepción observada. Sin embargo el modelo mostró un ajuste ligeramente mejor a la intercepción observada en los bosques de pino, encino y pino-encino, ya que solo subestimó a la anterior con un promedio total de 0.67 %, mientras que para las seis parcelas del matorral espinoso tamaulipeco, la intercepción modelada sobrestimó a la observada con un promedio total de 1.03 %. Otras comparaciones del modelo analítico han sido hechas en otras comunidades vegetales por diversos investigadores (Gash y Morton, 1978; Gash *et al.*, 1980; Pearce *et al.*, 1980; Rowe, 1983; Sambasiva Rao, 1987; Loustau *et al.*, 1992; Návar y Bryan, 1994 y Návar *et al.*, En Rev.) y la mayoría han observado buenos ajustes, aunque en general sobreestiman este parámetro ligeramente.

La diferencia entre la intercepción en el matorral espinoso tamaulipeco y en los bosques de pino, encino y pino-encino puede ser explicada en base a los parámetros del modelo de Gash. Se puede observar que el parámetro S es relativamente mayor en los bosques de la Sierra Madre Oriental (0.9076) en comparación con el registrado en las parcelas del matorral (0.4632), sin embargo en este último se observa que la tasa promedio de evaporación durante la lluvia (E) es mayor en esta comunidad (2.637 mm/hr) que en los bosques de la Sierra (1.283 mm/hr). Las altas tasas de evaporación durante la lluvia estimadas en esta investigación son difíciles de explicar ya que se necesitaría de un estudio detallado del balance energético existente en la vegetación.

Návar y Bryan (1994) observaron que las altas tasas de evaporación registradas en una comunidad semi-árida pueden ser debidas a la energía almacenada en la comunidad vegetal y la energía importada de la vegetación vecina resultante del tipo de lluvias, localizadas del tipo convectivo, la cual resulta en localidades adyacentes secas y húmedas espacialmente variables. En los bosques de la Sierra Madre Oriental, por poseer climas más templados el factor E parece no ser tan importante.

En las cuatro comunidades, la intercepción modelada total fue más sensible a los parámetros del modelo  $P'g$  y  $a$  resultaron en sobreestimaciones de la intercepción modelada para las lluvias de la validación del modelo. Ambos parámetros deben de ser estimados con procedimientos completamente independientes porque algunos valores sobrepasan estimaciones o mediciones realizadas en otros ecosistemas. Valores mayores que  $1.0 \text{ mm h}^{-1}$  para E, como resultado de  $a$ , son excepcionales en la literatura científica (Singh y Szeicz, 1979; Stewart, 1979; Pearce *et al.*, 1980; Gash, 1979; Gash *et al.*, 1980 y Návar y Bryan, 1994).

## **CAPITULO VII**

### **7.1. CONCLUSIONES**

Observaciones sobre los componentes de la intercepción en cuatro comunidades vegetales del nordeste de México mostraron que la intercepción y la escorrentía fustal se diferenciaron entre tipos de vegetación y entre parcelas de una misma comunidad. Por esta razón, aunque el modelo de Gash se ajustó y validó adecuadamente a las intercepciones observadas al nivel de la parcela y de la comunidad, es necesario estimar parámetros estructurales de la vegetación para poder aplicarlo correctamente a la escala de la cuenca hidrológica para poder considerar a la intercepción dentro de los balances hidrológicos.

## BIBLIOGRAFIA

- Busgen, M. 1929. The structure and life of the forest trees Third Revised and Enlarged Edition. Translation to English by Thompson Jhon Wiley and Sons Inc. New York.
- Cape, J.N., A.H.F Brown,, S.M.C Robertson,. , G Howson,. y I.S Paterson. 1991. Interspecies comparisons of throughfall and stemflow at three sites in northern Britain. *Forest Ecology and Management*. 46: 165-177.
- Calder, I. R. 1986. A stochastic model of rainfall interception. *J. Hydrol.* 89: 65-71.
- Clements, J.R. 1971. Evaluating summer rainfall through a multi-storied largetooth aspen community. *Canadian Journal of Forestry Research* 1:165-184.
- Collins, D.D. 1970 Climate-plant relationa affecting semi-desert grassland hydrology. In:simulation and analysis of dynamics of a semi-desert grassland. Range Sci- Dept.,Series No. 6, Colorado State Univ. Fort Collins, Colo.
- Diamond, D.D., D.H.Riskind, and S.L. Orzell. 1987. A framework for plant community classification and conservation in Texas. *Texas Journal of Science* 39, 203-221.
- Durocher, M.G. 1990. Monitoring spatial variability of forest interception. *Hydrological Processes*. 4: 215-229.
- Dolman, A. J. 1987. Summer and winter rainfall interception in an oak forest. Predictions with an analytical and a numerical simulation model. *J. Hydrol.* 90: 1-9.



- Eschner, R.C. 1967. Interception and soil moisture distribution. In *International Symposium on Forest Hydrology* Edited by Sopper, W.E. and Lull, H.W. Pergamon Press, Toronto. Pp 197-200.
- FAO/UNESCO. 1974. *Soil map of the world. Vol. 1, Legend*, UNESCO, Paris.
- Gash, J.H.C. and A.J. Morton. 1978. An application of the Rutter model to the estimation of the interception loss from Thetford forest. *Journal of Hydrology* 38: 49-58.
- Gash, J.H.C. 1979. An analytical model of rainfall interception by forests *Quaternary Journal Royal Meteorological Society* 105: 43-55.
- Gash, J.H.C., I.R. Wrigth, and C.R Lloyd. 1980. Comparative estimates of interception loss from three coniferus forests in Great Britain. *Journal of Hydrology* 48: 89-105.
- Gilbert, G.E. 1953. *Rainfall interception by relatively undisturbed deciduous forest in central Ohio. Ph.D. Thesis. The Ohio State Univ., Columbus, O.*
- Glover, J. and Gwynne, M. D. 1962a. Light rainfall and plant survival in East Africa. II. Dry grassland vegetation. *Journal of Ecology* 36: 199-206.
- Goldman, E.A. and R.T. Moore. 1946. The biotic provinces of México. *Journal of Mammalogy* 26, 347-360.
- González Medrano, F. 1966. *La vegetación del nordeste de Tamaulipas. Tesis Profesional. Facultad de Ciencias, UNAM, México D.F.*
- González Medrano, F. 1985. El límite sur de la Provincia Biótica Tamaulipeca. II *Simposio Internacional sobre la Prov. Biot. Tamaulipeca, 6-8 Marzo 1985, UAT-UNAM, Resúmenes pag.7. Cd. Victoria.*

- Goodall, D. 1965. Plot-less test of interespecific associations. *Journal of Ecology* 53: 197-210.
- Hamilton, E.L. and P.B. Rowe. 1949. Rainfall interception by a chaparral in California. California Department of Natural Resources, Div. Forestry. 43 pp.
- Heiseke, D. and R. Foroughbakhch. 1985. El matorral como recurso forestal. Reporte Científico No. 1. Facultad de Silvicultura y Manejo Renovables. UANL. Linares, México.
- Herwitz, S.R. 1986. Infiltration-excess caused by stemflow in a cyclone prone tropical rainforest. *Earth Surf. Proc. And Landforms* 11: 401-412.
- Hoover, M.D., D.F. Olson and E.G. Greene. 1953. Soil moisture under a loblolly pine plantation. *Soil Science Society American Proc* 17: 147-150.
- Hoover, M.D. 1953. Interception of rainfall in a young loblolly pine plantation. *Southeastern Forest Exp. Sta. Paper* 21. 13 pp.
- Hörmann, G., A. Branding., T. Clemen., M. Herbst., A. Hinrichs and F. Thamm. 1996. Calculation and simulation of wind controlled canopy interception of a beech forest in Northern Germany. *Agricultural and Forest Meteorology* 79: 131-148.
- Huber, A.W. and C. E. Oyarzum. 1990. Annual variations in precipitation, stemflow and interception in mature *Pinus radiata* stand. Instituto de Geociencias, Universidad Austral de Chile, Casilla 567, Valdivia, Chile. *Turrialba*.40: 503-508.
- Jackson, I.J.1975. The relationship between rainfall parameters and interception by tropical forests. *Journal of Hydrology* 24: 215-238.
- Jiang, Q.Y., L.M. He., Y.M. Yu., G.R. Chen, and D.F. Shi, 1993. Studies on material cycling in evergreen broad-leaved forest ecosystem in Hangzhou: I. Precipitation distribution. *Pedosphere*. 3: 221-230.

- Johnston, M.C. 1963. Past and present grassland of southern Texas and northeastern México. *Ecology* 44, 456-466.
- Johnson, R. C. 1990. The interception, throughfall and stemflow in a forest in Highland Scotland and the comparison with other upland forests in the U.K. *Journal of Hydrology Amsterdam*. 118: 281-287.
- Kelliher, F.M., D. Whitehead, and D.S. Pollock. 1992. Rainfall interception by trees and slash in a young *Pinus radiata* D. Don stand. *Journal of Hydrology* 131: 187-204.
- Kittredge, Joseph. 1948. *Forest influences*. McGraw-Hill Co., New York. 394 p.
- Kovda, V. A., E. M. Samoilova., J. L. Charley and J. J. Skujins. 1979. Soil Processes in Arid Lands. In *Arid Lands Ecosystems: Their Structure, Functioning and Management*. Edited by D. Goodall and R. Perry. IBP 17. Cambridge University Press.
- Leonard, R.E. 1961. Net precipitation in northern hardwood forest. *Journal of Geophysical Research*. 66: 2417-2421
- Loustau, D., P. Berbigier, and A. Granier. 1992. Interception loss, throughfall and stemflow in a maritime pine stand. II. An application of Gash's analytical model of interception. *Journal of Hydrology*. 138: 469-485.
- Leyton, L., E.R.C. Reynolds, and F.B. Thompson, 1967. Rainfall interception in a forest and moorland. In *International Symposium on Forest Hydrology*. Edited by Sopper, W.E. and Lull, H.W. Pergamon Press, Toronto. 163-178 pp.
- Massman, W. J. 1983. The derivation and validation of a new model for the interception of rainfall by forests. *Agric. Meteorol.*, 28: 261-286.
- Masukata, H., M. Ando and H. Ogawa, 1990. Throughfall, stemflow and interception of rainwater in an evergreen broadleaved forest *Ecological-Research*. 5:303-316.

- Mugnozza, G.S., R. Valentini., R. Spinelli., E. Giordano., G. Scarascia-Mugnozza,  
1988. Water cycle in a Turkey oak (*Quercus cerris*) coppice stand. *Annali  
Accademia Italiana di Scienze Forestali*. 37, 3-21.
- Návar, J., T. Cavazos and P.A.Dominguez.1993. Los balances hidrológicos mensuales  
con tres probabilidades en el estado de Nuevo León. En revisión. Reporte  
Científico de la Facultad de Ciencias de la Tierra. UANL. Linares, México.
- Návar, J. and R.B. Bryan. 1990. Rainfall interception and redistribution in semi-arid  
shrubs of northeastern México. *Journal of Hydrology* 115: 51-63.
- Návar, J. and R.B. Bryan. 1994. Fitting the analytical model of rainfall interception of  
Gash to individual shrubs of semi-arid vegetation in northeastern México.  
*Agricultural and Forest Meteorology* 68: 133-143.
- Návar, J. 1993. The causes of stemflow variation in three semi-arid growing species of  
northeastern México. *Journal of Hydrology* 145: 175-190.
- Neal, C., A.J. Robson., R.L. Hall., G. Ryland., T. Conway and M. Neal. 1991  
Hydrological impacts of hardwood plantation in lowland Britain: preliminary  
findings on interception at a forest edge, Black Wood, Hampshire, southern  
England. *Journal of Hydrology*. 127: 349-365.
- Neal, C., A.J. Robson., C.L. Bhardwaj., T. Conway., H.A. Jeffery., M. Neal., G.P.  
Ryland., C.J. Smith and J. Walls. 1993. Relationships between precipitation,  
stemflow and throughfall for a lowland beech plantation, black wood, Hampshire,  
Southern England: Findings on interception at a forest edge and the effects of  
storm damage *Journal of Hydrology* 146: 221-233.

- Nizinski, J. and B. Saugier. 1989. Soil water in an oak (*Quercus petraea*) stand in Fontainebleau, France. *Annales des Sciences Forestieres*. 46: 2, 173-186.
- Pearce, A.J., L.K. Rowe and J.B. Stewart. 1980. Nighttime, wet canopy evaporation rates and the water balance of an evergreen mixed forest. *Water Resources Research* 16: 955-959.
- Pearce, A. J. and Rowe, L. K. 1981. Rainfall interception in a multi-storied evergreen mixed forest: estimates using Gash's analytical model. *J. Hydrol.* 49: 341-353.
- Pudjiharta,-A; TM Basuki. 1988. Rainfall interception in *Agathis loranthifolia* plantations. *Buletin-Penelitian-Hutan* No. 512, 1-10.
- Pressland, A. J. 1973. Rainfall partitioning by an arid woodland (*Acacia aneura* F. Muell.) in south-western Queensland. *Australian Journal of Botany* 21: 235-245.
- Reynolds, E.R.C. and C. Henderson, 1967. Rainfall interception by beech, larch and norway spruce. *Journal of Forestry* 40: 165-184.
- Reynolds, E. R. C. and Leyton, L. 1963. Measurements and significance of throughfall in forest stands. Blackwell Scientific Publication 127-141 pp.
- Rowe, P.B. 1948. Influence of woodland chaparral on water and soil in central California. USDA and California Dep. Natur. Resour. Div. Forestry. Unnumbered Pub.
- Rowe, L. K. 1983. Rainfall interception by an evergreen beech forest in Nelson New Zeland. *Journal of Hydrology* 66: 143-158.
- Rutter, A.J. 1963. Studies in the water relations of water relations of *Pinus sylvestris* in plantation conditions. II. The annual cycle of soil moisture change and derived estimates of evaporation. *Journal of Applied Ecology* 18: 521-527.

- Rutter, A.J., K.A. Kershaw., P.C. Robins and A.J. Morton. 1971. A predictive model of rainfall interception in forest. Part 1: Derivation of the model from observation in a plantation of Corsican pine Agric. Meteorol., 9: 367-383.
- Rutter, A.J., A.J. Morton and P.C. Robins. 1975. A predictive model of rainfall interception in forests. Part II: Generalization of the model and comparison with observations in some coniferous and hardwood stands. J. Appl. Ecol. 12: 367-380.
- Rutter, A.J. and D.J. Morton. 1978. A predictive model of rainfall interception in forest. III. Sensitivity of the model to stand parameters and meteorological variables. Journal of Applied Ecology 14:567-588.
- Santa Regina, L., J. F. Gallardo., C. San Miguel y A. Moyano. 1989. Intercepción, pluviolavado y escorrentía cortical en una plantación de *Pinus sylvestris* de la Cuenca de Candelario (centro-oeste de España) Bosque 10: 19-27.
- Sambasiva Rao, A. 1987. Interception losses of rainfall from cashew trees. Journal of Hydrology 90: 293-301.
- Singh, B. And G. Szeicz, 1979. The effect of intercepted rainfall on the water balance of a hardwood forest. Water Resources Research 15: 131-138
- Sinun, W., W.W. Meng., I. Douglas and T. Spencer. 1992. Throughfall, stemflow, overland flow and throughflow in the Ulu Segama rain forest, Sabah, Malaysia. Tropical rain forest: disturbance and recovery. Proceedings of a Royal Society discussion meeting held on 18 and 19 September 1991 (edited by Marshall, A.G., Swaine, M.D.). Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Science. 335: 389-395.
- Slatyer, R.O. 1965. Measurement of precipitation, interception by an arid plant community (*Acacia aneura* F.). Arid Zone Research 25: 181-192.

- Smith, M.K. 1974. Throughfall stemflow and interception in pine and eucalypt forest. Australian forestry. pp 190-197.
- Sood, V.K., Room-Singh., Monika-Bhatia., R. Singh and M. Bhatia. 1993. Throughfall, stemflow and canopy interception three hardwood tree species around Shimla, Himachal Pradesh. Indian Journal of Forestry 16: 39-44.
- Spetch, R. L. 1957. IV Soil moisture patterns produced by rainfall interception and stemflow. Australian Journal of Botany 5: 137-150.
- Stewart, J. B. 1979. Evaporation from the wet canopy of a pine forest. Water Resources Research 13: 915-921.
- Synnott, T. J. y J.S. Marroquín. 1987. Ecología forestal del terreno de Santa Rosa, Iturbide, Nuevo León. Reporte Científico No. 6. Facultad de Ciencias Forestales. U.A.N.L. Linares, México.
- Tang, C.Y. 1993. Water and solute transport in a *Pinus* forest. Tracers in hydrology: Proceedings of an international symposium held at Yokohama, Japan, 21-23 July 1993 (edited by Peters, N. E., Hoehn E., Leibundgut, Ch., Tase, N., Walling D.E.) 347-348.
- Teklehaimanot, Z., P. G. Jarvis and D. C. Ledger. 1991. Rainfall interception and boundary layer conductance in relation to tree spacing. J. Hydrol. 123: 261-278.
- Thurrow, T. L., W. H. Blackburn., S. D. Warren and C. A. Taylor. 1987. Rainfall interception by midgrass, shortgrass and live oak mottes. J. Range Manage., 40: 455-460.
- Tromble, John M. 1983. Interception of rainfall by tarbush. Journal of Range Management 36(4), July 1983. Pp. 525-526.

- Viville, D., P. Biron., A. Granier., E. Dambrine and A. Probst. 1993. Interception in a mountainous declining spruce stand in the Strengbach catchment (Vosges, France). *Journal of Hydrology*. 144: 273-282.
- Voigt, G.K. 1960. Distribution of rainfall under forest stands. *Forest Science* 6: 2-10.
- Wicht, C.L. 1941. An approach to the study of rainfall interception by forest canopies. *Journal South African Forestry Association* 6: 54-70.
- Zinke, P. J. 1967. Forest interception studies in the United States, p. 137-151. *In* William E. Sopper and H. W. Lull [Ed.] *Proceedings international symposium on forest hydrology*. Pergamon Press, Oxford.



