



Universidad Autónoma de Querétaro  
Facultad de Ingeniería  
Maestría en Ciencias  
Línea Terminal Hidráulica

EXPERIMENTACIÓN Y MODELACIÓN NUMÉRICA DE LA INTERCEPCIÓN DE LA  
PRECIPITACIÓN DE UN LECHO DE RESIDUOS VEGETALES O MULCH

TESIS

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de

MAESTRO EN CIENCIAS

Presenta:

Graciela Dafné Hernández Delgado

Dirigido por:

Dr. Enrique González Sosa

SINODALES

Dr. Enrique González Sosa  
Presidente

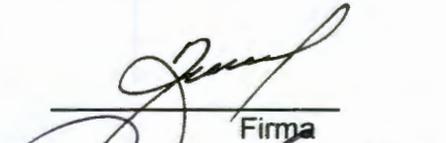
Dr. Eusebio Jr. Ventura Ramos  
Secretario

Dr. Aurelio Guevara Escobar  
Vocal

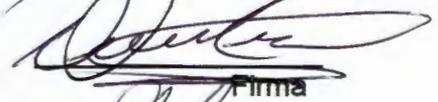
Dr. Nabil Mobayed Khodr  
Suplente

M. I. Filiberto Luna Zuñiga  
Suplente

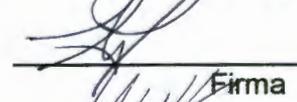
M. I. Gerardo René Serrano Gutiérrez  
Director de la Facultad



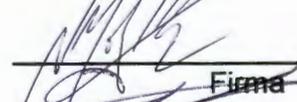
Firma



Firma



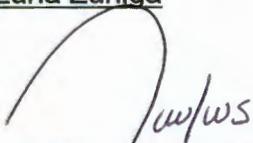
Firma



Firma



Firma



Gerardo

Dr. Sergio Quesada Aldana  
Director de Investigación y  
Posgrado

Centro Universitario  
Querétaro, Qro. octubre de 2004  
México

No. Adq. H69469

No. Titulo \_\_\_\_\_

Clas. IS

G27

H351c

\_\_\_\_\_

## RESUMEN

Para estudiar la capacidad de intercepción de tres lechos de residuos vegetales se adaptó un modelo de intercepción hecho originalmente para bosque. Se propusieron tres materiales con diferente geometría y porosidad que funcionarían como lechos: aserrín, hojas de álamo y pasto silvestre, para comparar su influencia en la capacidad de intercepción y determinar los parámetros de la ecuación exponencial de drenaje propuesta por el modelo de Rutter et al. (1971). Del estudio en laboratorio bajo una hora de simulación de lluvia para cada lecho se obtuvo, experimentalmente, que la capacidad de intercepción de las hojas de álamo fue entre el 5% y el 21% de la lluvia aplicada, del 6% al 24% de la lluvia para el pasto silvestre y del 15% al 98% de la lluvia para el aserrín; valores que varían dependiendo, principalmente, de la intensidad de lluvia aplicada, de la densidad del material y de su porosidad. La capacidad máxima de intercepción promedio, en un lecho de 5 cm de espesor, fue de 8.9 mm en el aserrín, 2.5 mm en las hojas de álamo y 3.3 mm en el pasto silvestre; mientras que para un lecho con 10 cm de espesor se encontró que la capacidad máxima de intercepción aumenta casi al doble. De experimentos para determinar el drenaje en los lechos se obtuvieron los valores de los coeficientes de drenaje y percolación para con ellos ingresar a un modelo matemático desarrollado en lenguaje Fortran y poder simular el comportamiento de la capacidad de intercepción.

**Palabras clave:** lecho de residuos vegetales, capacidad de intercepción, drenaje, coeficiente de drenaje, coeficiente de percolación.

## SUMMARY

An interception model, originally developed for forest conditions, was adapted to study rainfall interception and to determine the parameters of the exponential equation in the model proposed by Rutter et al. (1971) in three mulches different in their geometry and porosity: sawdust, poplar leaves and wild grass. Under laboratory conditions, after one hour of rainfall simulation it was experimentally obtained that interception capacity of sawdust varied from 15% to 98%, 5% to 21% for the poplar leaves and from 6% to 20% for the wild grass; depending on the rainfall intensity applied, density of material and porosity. Maximum interception capacity of the 5 cm thick mulch of sawdust was 8.9 mm, while the corresponding value for poplar leaves was 2.5 mm and 3.3 mm for the wild grass. The values for the same parameter increased approximately twice when the layer thickness was doubled. Drainage and percolation coefficients were obtained from drainage experiments, and then used in a mathematical model compiled on Fortran language to simulate the response of interception capacity.

**Key Words:** mulch, interception capacity, drainage, drainage coefficient, percolation coefficient.

## AGRADECIMIENTOS

A todos los profesores de licenciatura y maestría por compartir conmigo sus conocimientos.

Al Dr. Enrique por guiarme en la realización de este trabajo.

Doctor Aurelio Guevara gracias por su apoyo para la realización de las pruebas experimentales.

A Emmanuel Beze le agradezco por su colaboración en la realización del programa en lenguaje Fortran.

Sin duda no terminaría de listar a las personas que me han brindado su apoyo y quiero agradecerles a todos ellos, sin embargo quiero expresar mi agradecimiento a todos mis compañeros de maestría, especialmente a: Lupita, Rocío, José Luis, Genaro y Sergio y darles las gracias por su ayuda en la realización de este trabajo y por su compañerismo y amistad que han tenido conmigo.

Lidza, Oscar Linares y Oscar César muchas gracias por su amistad y por todo el apoyo.

A mi familia que en todo momento me ha brindado su amor y confianza.

Samuel, gracias por todo tu empeño, amor, trabajo y tiempo que has puesto junto conmigo en este trabajo, te amo mi amor.

Al personal de los laboratorios de Hidráulica y Mecánica de Suelos, les agradezco la cortesía con la que me atendieron para el préstamo de las herramientas de trabajo.

## DEDICATORIAS

A Dios que me dio la vida y la oportunidad de hacer esta tesis le dedico este trabajo.

Con todo mi amor para mi familia que son parte de mi corazón y que han contribuido muchísimo en la realización de esta investigación: Mamá, Papá, Adri, Dulce, Fer, Royito, Donagí, Samuel, Rogelio y Rubén; este trabajo es de ustedes, los amo.

Para el Dr. Enrique González Sosa por su afán en investigaciones de la hidráulica y el medio ambiente.

CONTENIDO	PÁGINA
RESUMEN	ii
SUMMARY	iii
AGRADECIMIENTOS	iv
DEDICATORIAS	v
LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE TABLAS	x
<b>1 INTRODUCCION</b>	<b>1</b>
1.1 Antecedentes	2
1.2 Justificación	5
1.3 Objetivo general	5
1.4 Objetivo específico	6
1.5 Hipótesis	6
<b>2 INTERCEPCIÓN DE LA PRECIPITACIÓN POR UN LECHO DE RESIDUOS VEGETALES O <i>MULCH</i></b>	<b>7</b>
2.1 Definición de <i>mulch</i> e intercepción	7
2.2 Análisis del modelo de Rutter	8
2.2.1 Componentes del balance de masa	10
2.3 Comportamiento físico del modelo de intercepción para un lecho de residuos orgánico	14
2.4 Modelo matemático para determinar la capacidad de almacenamiento de un lecho de residuos vegetales	16
2.5 Consideraciones para el estudio experimental	17
<b>3 MATERIALES Y METODOLOGÍA</b>	<b>18</b>
3.1 Materiales empleados como cubiertas o <i>mulch</i>	18
3.1.1 Aserrín	18
3.1.2 Hojas de álamo	19
3.1.3 Pasto	20
3.2 Equipo y material empleado	23
3.3 Experimentos	24

3.3.1	Consideraciones para el diseño de experimentos	24
3.3.2	Experimentos preliminares	27
3.3.3	Primera etapa	29
3.3.4	Segunda etapa experimental: experimentos para determinar los coeficientes de drenaje (k) y percolación (b)	32
3.4	Metodología para la obtención de los valores de la capacidad de interceptión, resultado del balance de masa	34
3.5	Metodología para la elaboración del programa para calcular la interceptión de agua en un lecho	35
<b>4</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	<b>38</b>
4.1	Propiedades de forma, humedad y volumétricas de los materiales empleados como lechos	38
4.2	Capacidad máxima de almacenamiento	40
4.2.1	Determinación de la capacidad máxima de interceptión	42
4.2.2	Comparación entre los valores de la capacidad máxima de interceptión obtenidos del cálculo del balance de masa con los observados en las pruebas experimentales	47
4.3	Análisis de varianza	48
4.4	Evolución de la capacidad de interceptión C	50
4.5	Evolución del drenaje D	52
4.6	Análisis de la intervención de la intensidad de lluvia en la capacidad máxima de interceptión	55
4.7	Coefficientes de drenaje (k) y percolación (b)	58
4.8	Sensibilidad del modelo con el paso del tiempo	63
4.9	Análisis del modelo: eficiencia, sesgo y error cuadrático medio	64
4.10	Comparación entre las curvas de la capacidad de interceptión resultado de la experimentación con las obtenidas del modelo	66
<b>5</b>	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>70</b>
	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>73</b>
	<b>APÉNDICE</b>	<b>76</b>

**LISTA DE FIGURAS****PÁGINA**

2.1	Analogía del modelo empleado por Rutter al modelo a emplear en este estudio, donde los elementos del balance de masa son: Precipitación (P), Evaporación (E), Drenaje (D), flujo de traslocación (T), escurrimiento cortical (Q), escurrimiento superficial (R) e interceptión neta (C)	9
2.2	El lecho es considerado como un reservorio de agua.	10
2.3	Comportamiento físico ideal de la capacidad de interceptión C, evaporación (E) y drenaje (D) de un lecho de residuos vegetales bajo una precipitación constante (P)	15
3.1	Materiales colocados en el área de estudio justo antes de iniciar la simulación bajo la lluvia	20
3.2	Lugar de origen del pasto utilizado en las pruebas experimentales	22
3.3	Pasto colocado en el área de estudio justo antes de comenzar la prueba	22
3.4	Arreglo de tambos en donde se realizaron las pruebas experimentales	25
3.5	Arreglo de cuatro tambos, considerando el orden señalado para su identificación al igual que en los aspersores	26
3.6	Aditamentos de medición	26
3.7	Calibración de los tambos antes de iniciar la primera etapa experimental	28
3.8	Calibración de los tambos al concluir la primera etapa experimental	29
3.9	Lecho sobre la malla de tela y montado en la estructura soporte para medir su drenaje durante y después de tormenta	33
3.10	Lluvia aplicada manualmente con dos atomizadores	33
3.11	Peso del lecho al final de la prueba	34
4.1	Granulometría de los materiales empleados como lechos	39
4.2	Porcentaje de la precipitación que es almacenado por cada uno de los lechos para Z=5 cm	42
4.3	Porcentaje de la precipitación que es almacenado por cada uno de los lechos para Z=10 cm	42
4.4	Capacidad de interceptión acumulada para una precipitación de 9.8 mm h <sup>-1</sup>	45
4.5	Capacidad de interceptión acumulada para una precipitación de 70.9 mm h <sup>-1</sup>	45
4.6	Comparación de los valores de la capacidad máxima de almacenamiento al termino de la tormenta (S), para Z=5 cm	47

4.7	Comparación de los valores de la capacidad máxima de almacenamiento al término de la tormenta (S), para Z=10 cm	48
4.8	Comportamiento de la capacidad de intercepción de lluvia (C) cada 5 min durante 1 h de simulación, para precipitaciones de 9.8 mm h <sup>-1</sup> y 70.0 mm h <sup>-1</sup> con dos variaciones de espesor de lecho para cada material	51
4.9	Comportamiento del drenaje (D) cada 5 min durante 1 h de simulación, para precipitaciones de 9.8 mm h <sup>-1</sup> y 70.0 mm h <sup>-1</sup> con dos variaciones de espesor de lecho para cada material	53
4.10	Tiempo inicial de drenado (t <sub>0</sub> ) para un espesor de lecho Z=5 cm, en cada lecho	54
4.11	Tiempo inicial de drenado (t <sub>0</sub> ) para un espesor de lecho Z=10 cm, en cada lecho	55
4.12	Capacidad máxima de intercepción de acuerdo a la intensidad de lluvia aplicada en cada lecho	57
4.13	Drenaje medido para cada lecho en la fase III denominada: "fase de secado"	59
4.14	Relación lineal entre el logaritmo natural del drenaje (ln D) y el valor de la capacidad de intercepción (C)	60
4.15	Análisis de sensibilidad del modelo debido al paso del tiempo	63
4.16	Análisis de eficiencia en el lecho de aserrín con 10 cm de espesor entre la capacidad de intercepción del modelo (C modelo) y la capacidad de intercepción de los resultados experimentales (C obs)	65
4.17	Análisis de eficiencia en el lecho de hojas con 10 cm de espesor entre el drenaje modelo (D modelo) y el drenaje de los resultados experimentales (D obs)	65
4.18	Análisis de eficiencia en el lecho de pasto con 5 cm de espesor entre el drenaje modelo (D modelo) y el drenaje de los resultados experimentales (D obs)	65
4.19	Comparación de la capacidad de intercepción (C) de las hojas de álamo, obtenida de la experimentación en las tres fases: llenado, saturación (exp) y vaciado, con la obtenida de la modelación (modelo)	67
4.20	Comparación de la capacidad de intercepción (C) del pasto, obtenida de la experimentación en las tres fases: llenado, saturación (exp) y vaciado, con la obtenida de la modelación (modelo)	67
4.21	Comparación de la capacidad de intercepción (C) del aserrín, obtenida de la experimentación en las tres fases: llenado, saturación (exp) y vaciado (secado), con la obtenida de la modelación (modelo)	68

4.22	Comparación de la capacidad de intercepción (C), para un lecho de hojas de álamo con 10 cm de espesor, entre los valores observados (exp) y los estimados con el programa utilizando el promedio de k y b (modelo) y utilizando k y b adaptados dependiendo de la intensidad de la precipitación (modelo/k,b adaptados)	69
------	---	----

<b>LISTA DE TABLAS</b>	<b>PÁGINA</b>	
3.1	Datos de origen de las muestras de aserrín	19
3.2	Datos de origen de las muestras de álamo	20
2.3	Comportamiento físico ideal de la capacidad de intercepción C, evaporación (E) y drenaje (D) de un lecho de residuos vegetales bajo una precipitación constante (P)	15
3.3	Intensidades de precipitación utilizadas en la experimentación	27
3.4	Matriz de experimentos correspondientes a la primera etapa	30
4.1	Humedad inicial y densidad de los materiales empleados como lechos	39
4.2	Capacidad máxima de almacenamiento al término de la tormenta (S) en mm para tres lechos de residuo orgánico bajo cuatro intensidades de lluvia, producto del balance de masa	41
4.3	Matriz de análisis de varianza	49
4.4	Valores promedio de los coeficientes de drenaje k y percolación b	61
4.5	Valores de los coeficientes de drenaje k y percolación b obtenidos por otros autores para tres vegetaciones diferentes	62



## 1. INTRODUCCIÓN

Varios estudios han puesto en evidencia que las coberturas vegetales, lechos vegetales o *mulch* reducen o eliminan los efectos erosivos en suelos por la intensidad de la precipitación y escurrimientos superficiales, disminuyen o retardan la evaporación, amortizan las variaciones térmicas diarias e influyen en el control del intercambio de la energía en el sistema planta-suelo-atmósfera (Bristow et al., 1985; Chung y Horton, 1987; Sui et al., 1992; Bussiére y Céllier, 1994).

Cuando la vegetación limita el paso directo de la precipitación al suelo, comienza el proceso de intercepción y para el estudio de intercepción se han utilizado, principalmente, dos modelos: modelo numérico de Rutter et al. (1971) y el modelo analítico de Gash (1979). En el presente trabajo se hizo la adaptación del modelo de Rutter para estudiar la capacidad de intercepción de tres lechos de residuos vegetales con diferente geometría: aserrín, hojas de álamo y pasto, para conocer su influencia en el balance de masa; así como obtener los coeficientes de drenaje y percolación que definen la evolución del drenaje dependiendo del tipo de material utilizado como lecho.

El estudio experimental se desarrolló en el laboratorio de Hidráulica de la Facultad de Ingeniería en la Universidad Autónoma de Querétaro. Se analizó la capacidad de intercepción bajo cuatro intensidades de precipitación:  $9.8 \text{ mm h}^{-1}$ ,  $30.2 \text{ mm h}^{-1}$ ,  $40.4 \text{ mm h}^{-1}$  y  $70.9 \text{ mm h}^{-1}$ ; precipitaciones que fueron simuladas con un simulador de lluvia tipo Norton (Bautista, 2002). Se obtuvieron los coeficientes de drenaje y percolación que caracterizan a cada material y con estos datos se pudo realizar un programa para comparar los resultados observados con los estimados.

## 1.1 Antecedentes

Experimentos en campo y laboratorio han mostrado que colocar una cobertura o *mulch* en el suelo reduce de manera significativa la evaporación y amortigua la fuerza con la que el suelo es golpeado debido a la intensidad de lluvia (González, 2000). Sin embargo, se desconoce su comportamiento en zonas semiáridas. La carencia de investigaciones se demuestra a partir de un estudio de Bosch y Hewlett (1982), quienes revisaron de forma exhaustiva la bibliografía mundial referida a datos de balances hídricos en las cuencas y al efecto de la cobertura vegetal en la intercepción de lluvia. A partir de este análisis se determinó que sólo un 10% de los estudios correspondían a áreas de precipitación media anual inferior a 600 mm. En particular, en México no se ha profundizado en estudiar el comportamiento y los efectos de la capacidad de almacenamiento de agua que tiene una cubierta vegetal, lecho o *mulch*.

Las zonas áridas o semiáridas se caracterizan por la presencia importante de procesos de desertificación y una carencia de recursos hídricos, los cuales son aportados de forma irregular, en cantidades bajas o muy bajas y con importantes grados de torrencialidad, con lo que se configura un cuadro difícil de predecir (Pizarro, 1998). Dadas estas condiciones, es necesario cuidar y proteger el suelo, principalmente aquél que se encuentre desnudo para reducir la erosión y la evaporación.

Entre las ventajas que tienen las cubiertas o *mulches* se encuentra que reducen o eliminan los efectos erosivos en suelos causados por la intensidad de la precipitación y escurrimientos superficiales, disminuyen o retardan la evaporación, regulan las variaciones térmicas diarias e influyen en el control del intercambio de la energía en el sistema planta-suelo-atmósfera (Bristow et al., 1985; Chung y Horton, 1987; Sui et al., 1992; Bussièrè y Céllier, 1994).

Rutter et al., (1971) desarrollaron un modelo de intercepción de lluvia para predecir la evaporación de la lluvia interceptada en bosques (frecuentemente llamadas pérdidas de intercepción) derivado de observaciones en un bosque cuya vegetación en estudio fueron pinos Corsican. Este modelo se basa en una corrida de balance de masa: el cambio total de agua almacenado en la vegetación es determinado por la proporción de la lluvia que entra en la vegetación, el drenaje de la vegetación y la evaporación del agua interceptada (Schellekens J., et al., 1999). Este modelo ha servido de base para varios investigadores que estudian el comportamiento de lechos vegetales o *mulches*.

Van Bavel y Hillel (1975) desarrollaron una adaptación para un modelo de transferencia de calor y masa en el suelo con una cubierta vegetal, como *mulch*, en la superficie del suelo y concluyeron que el *mulch* reduce la evaporación e incrementara la temperatura en el suelo. Por primera vez, Ross et al. (1985) consideró el *mulch* como un medio poroso capaz de almacenar energía y agua.

El estudio de la influencia en los cambios de masa y energía han sido estudiados para buscar los efectos que puede generar un lecho de residuos vegetales. Bussièrè y Cellier, (1994) desarrollaron un modelo de transferencia de agua y calor en intervalos de tiempos horarios en un sistema suelo-*mulch*, utilizando residuos de caña de azúcar como *mulch* o lecho. Este estudio se basó en el modelo propuesto por Rutter para encontrar los parámetros que determinan la transferencia de agua a través de un lecho o *mulch*. Los resultados experimentales mostraron que el lecho o *mulch* reduce la temperatura y la evaporación en el suelo.

Para el estudio de la intercepción de la lluvia en bosques, Gash (1979) desarrolló un modelo analítico, basado en el modelo numérico de Rutter. Las

simplificaciones que Gash (1979) introdujo permitieron que el modelo pudiera ser aplicado a situaciones con más de una tormenta por día. El modelo de Gash usa una serie de expresiones para calcular las pérdidas de intercepción durante diferentes fases de una tormenta. Con este modelo se han hecho investigaciones (en su gran mayoría en intercepción por bosques) donde se ha podido comparar resultados con el modelo de Rutter.

En las Islas Canarias se investigó la intercepción de lluvia por un bosque de laurel en donde se utilizó el modelo de Rutter y el modelo de Gash (Aboal et al., 1999). Para este estudio se encontró que la mejor predicción fue con el modelo de Gash (con solo el 2% de sobre estimación de los datos medidos). Los resultados mostraron que las pérdidas por intercepción fueron el 30% de la lluvia y la capacidad de almacenamiento máximo de 2.45 mm.

Además de la capacidad que tiene el *mulch* para interceptar agua de lluvia se ha estudiado su capacidad para almacenar el rocío. En un estudio reciente realizado en una región semiárida de China se investigó sobre la condensación de rocío en *mulches* de grava y arena, obteniéndose como resultado: para un *mulch* de grava, un valor promedio de rocío de  $0.071 \text{ mm d}^{-1}$  el cual en una hectárea representa un volumen de  $259.1 \text{ m}^3$  al año, mientras que para un *mulch* de arena obtuvieron un valor promedio de  $0.12 \text{ mm d}^{-1}$  equivalente, para una hectárea, a un volumen de  $438 \text{ m}^3$  al año (Xiao – Yan Li, 2002).

Los estudios que se han realizado en relación al comportamiento de una cubierta vegetal en el balance de masa ponen en evidencia la importancia de estudiar experimentalmente y numéricamente las cubiertas para conocer cómo intervienen en el balance de masa o hídrico.

## **1.2 Justificación**

El agua tiene un uso muy importante en lo que se refiere a la demanda natural que requieren los ecosistemas para mantener su equilibrio, por lo que es necesario contar con la cantidad y calidad adecuada del vital líquido. La afectación que se haga de este equilibrio incide directamente en la oferta natural del agua porque puede alterar el ciclo hidrológico y los ecosistemas debido al rompimiento del balance físico-químico entre la fase líquida del agua en la superficie, la gaseosa en el aire y la evapotranspiración vegetal.

Por lo descrito arriba es de gran interés lograr un uso eficiente del agua, sobre todo en poblaciones en donde es escasa, como las de las zonas áridas y semiáridas. De ahí que el estudio hidrológico de una cuenca se realice de la forma más eficiente buscando obtener resultados, en lo posible, más apegados al comportamiento físico real y poder contar con herramientas que permitan tomar decisiones en beneficio del medio ambiente y del ser humano.

## **1.3 Objetivo General**

Estudiar la intercepción de la lluvia por un lecho de residuos vegetales o mulch y adaptar el modelo exponencial de intercepción propuesto por Rutter, et al. (1971), a tres diferentes lechos de residuos vegetales, con diferente geometría y porosidad intrínseca, a fin de investigar la influencia y sus efectos en el balance de masa.

#### **1.4 Objetivo Específico**

Encontrar los coeficientes de drenaje y percolación del modelo exponencial de intercepción propuesto por Rutter, et al. (1971) para tres materiales (con diferente geometría) utilizados como lechos.

#### **1.5 Hipótesis**

La capacidad de intercepción de un lecho de residuos vegetales varía de acuerdo a sus propiedades físicas, principalmente a la porosidad y forma de sus componentes sin importar la intensidad de la precipitación a que sea sometido.

## 2. INTERCEPCIÓN DE LA PRECIPITACIÓN POR UN LECHO DE RESIDUOS VEGETALES O *MULCH*

### 2.1 Definición de *mulch* e intercepción

En la literatura especializada no existe una definición única de la palabra *mulch*. Bussiére (1991) la especifica como “una cubierta situada en la superficie del suelo”. Si uno acepta la definición anterior, pueden incluirse los lechos formados naturalmente por la senescencia de la vegetación. Por otra parte, puede distinguirse a partir de la definición de *mulch* la palabra “*mulching*” como la aplicación artificial de un *mulch*. Los *mulches* pueden ser de diferentes materiales: residuos de vegetación, de boleos gruesos o arena, ciertos productos industriales tales como los plásticos, asfalto, etc. Las características principales que condicionan el comportamiento de un *mulch* son: espesor, geometría del material, densidad, propiedades ópticas (color) y propiedades hidro-térmicas (succión, conductividad térmica, coeficiente de difusión de vapor y capacidad de intercepción del agua de lluvia).

Para el presente estudio se adoptó la palabra lecho para referirse a las cubiertas vegetales en estudio, ya que es la palabra que más se aproxima al significado de la traducción de la palabra de origen inglés: *mulch*.

Cuando la vegetación limita el paso directo de la precipitación al suelo, comienza el proceso de intercepción. Durante este proceso se presentan tres flujos: de traslocación (flujo por goteo desde la cubierta vegetal), escurrimiento cortical (escurrimiento por ramas y troncos) e intercepción neta (evaporación retenida y almacenada de la cubierta).

## 2.2 Análisis del modelo de Rutter

Rutter, et al (1971), desarrolló un modelo numérico para predecir la intercepción de lluvia para un bosque de pino Corsican en Gran Bretaña. Como idea central, considera a la vegetación como un reservorio capaz de almacenar agua y ser vaciado por la evaporación y el drenaje. La evaporación y el drenaje en la vegetación varía de acuerdo a la cantidad de agua almacenada, de tal forma que el modelo calcula el balance en el periodo de lluvia, flujo de traslocación, la evaporación y cambios en el almacenaje.

Las componentes que integran el balance de masa en el modelo de Rutter para el bosque de pino Corsican se explican a continuación: el agua que entra en el sistema está dada por la precipitación ( $P$ ); de esta precipitación existe una parte que pasa libremente entre los huecos que existen en la vegetación denominado flujo de traslocación ( $T$ ), otra que escurre por troncos: escurrimiento cortical ( $Q$ ) y una parte que se queda almacenada en la vegetación ( $C$ ); por lo anterior, la cantidad de agua que almacena la vegetación estaría dada por  $P - T - S$ . Sin embargo, el agua retenida en la vegetación es susceptible a evaporarse ( $E$ ) o bien, a ser drenada por gravedad ( $D$ ) y entonces el agua almacenada en la vegetación ( $C$ ) será:  $P - T - Q - E - D$  (Fig. 2.1).

El interés por conocer cómo es el comportamiento de la intercepción de agua de lluvia en una vegetación que cubre el suelo, ha dado lugar a realizar la analogía en base al modelo propuesto por Rutter para estudiar la intercepción de un lecho de residuos orgánicos (Fig. 2.1). Para el lecho de un cierto espesor ( $Z$ ), por tratarse de un medio con menos aberturas entre sus elementos a comparación del bosque de pino, el agua que entra al sistema se considera como una precipitación neta ( $P$ ), por lo que no habría lluvia que pasa entre los huecos de la vegetación ni escurrimiento cortical al no existir troncos ni ramas mayores, y el

agua retenida en el lecho ( $C$ ) puede se evaporada ( $E$ ) o drenada ( $D$ ). Entonces, el agua almacenada en el lecho sería:  $P - E - D$ .

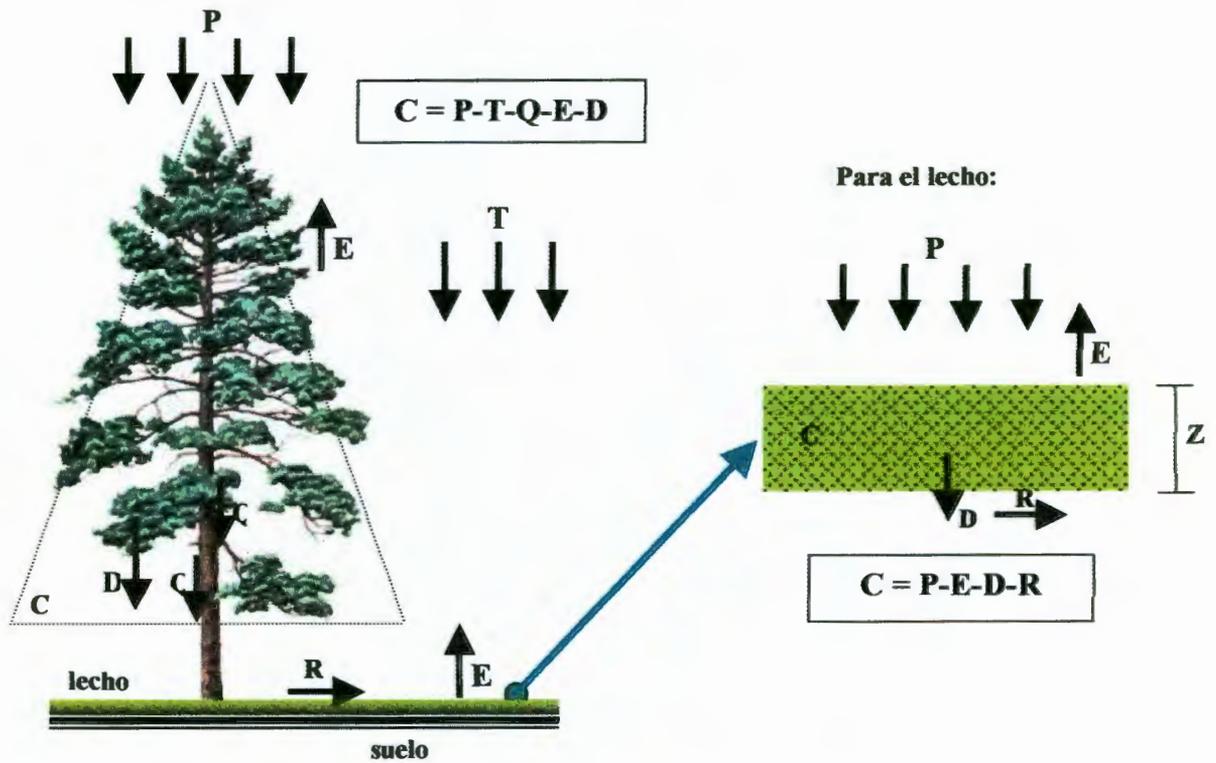


Figura 2.1 Analogía del modelo empleado por Rutter al modelo a emplear en este estudio, donde los elementos del balance de masa son: Precipitación ( $P$ ), Evaporación ( $E$ ), Drenaje ( $D$ ), flujo de traslocación ( $T$ ), escurrimiento cortical ( $Q$ ), escurrimiento superficial ( $R$ ) e interceptación neta ( $C$ ).

## 2.2.1 Componentes del balance de masa

El lecho de residuos vegetales o mulch se considera como un reservorio de agua, el cual es llenado por la lluvia (**P**) y vaciado por la evaporación (**E**) y drenaje (**D**), en la Fig. 2.2 se esquematiza esta consideración.

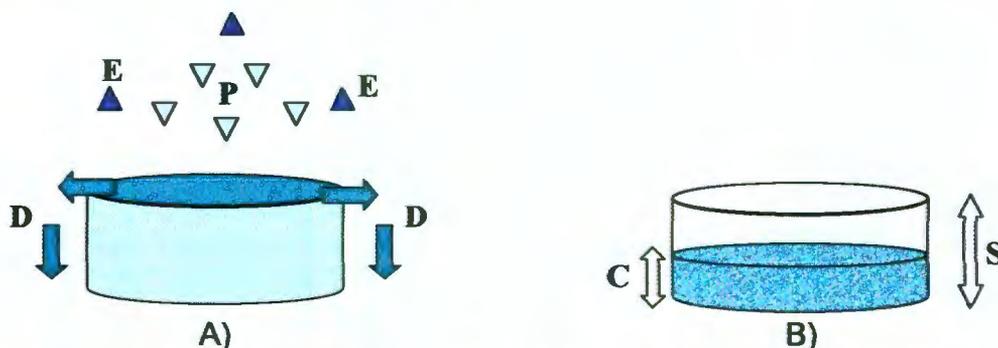


Figura 2.2 El lecho es considerado como un reservorio de agua. A) Componentes que intervienen en el llenado ( $P$ =Precipitación) y vaciado del reservorio ( $D$ =Drenaje y  $E$ =Evaporación). B) Capacidad del reservorio en un determinado tiempo ( $C$ ) y capacidad máxima del reservorio ( $S$ ).

Para que el sistema esté en equilibrio se satisface la ecuación del balance de masa:

$$P + E + D + R + \Delta C = 0 \quad (1)$$

donde la suma de sus componentes: Precipitación ( $P$ ), Evaporación ( $E$ ), Drenaje ( $D$ ), Escurrimiento superficial ( $R$ ) y Almacenamiento de agua en el lecho ( $\Delta C$ ), debe ser igual a cero.

Las pérdidas por intercepción ( $I$ ) en una tormenta se dan de acuerdo a la siguiente relación:

$$I = \Sigma E = \Sigma P - \Sigma T \quad (2)$$

Es el agua interceptada y evaporada en el periodo de tiempo en que la lluvia comienza a caer en una vegetación seca hasta que la vegetación está finalmente seca otra vez; donde  $\Sigma P$ ,  $\Sigma E$  y  $\Sigma T$  son el total de los componentes de lluvia, evaporación y flujo de traslocación, respectivamente.

De lo anterior se tiene que el balance de masa en la vegetación para cualquier periodo en una tormenta:

$$\Sigma P = \Sigma D + \Sigma E \pm \Delta C \quad (3)$$

$\Sigma D$  = total de agua drenada

$\Delta C$  = el cambio de agua con respecto al total

(Cantidades expresadas en mm por unidad de tiempo)

### **Drenaje en el mulch:**

El drenaje que se presenta dentro del lecho o mulch es estimado por la relación entre el logaritmo natural del drenaje ( $\ln D$ ) y la capacidad de interceptación ( $C$ ) que es aproximadamente lineal:

$$D = k \exp(bC) \quad (4)$$

donde  $k$  ( $\text{mm min}^{-1}$ ) es el coeficiente de drenaje y  $b$  ( $\text{mm}^{-1}$ ) es el coeficiente de percolación, obtenidos por medio de la experimentación. La determinación de estos coeficientes se muestra en el apéndice.

## Evaporación:

Cuando la superficie de la vegetación está húmeda entonces existe una evaporación potencial ( $E_p$ ), es decir, cuando  $C > S$ , y en el caso en que  $C \leq S$  entonces se asume que:

$$E = E_p \frac{C}{S} \quad (5)$$

donde,  $S$  es la capacidad máxima de almacenamiento de la vegetación.

Para calcular la evaporación potencial se utilizó el método de Penman-Monteith, el cual se describe a continuación:

La evaporación total está dada por la suma de la evaporación aerodinámica ( $E_{aero}$ ) y la evaporación por radiación térmica ( $E_{rad}$ ):

$$E_p = E_{rad} + E_{aero} \quad (6)$$

Cada tipo de evaporación se determina como sigue:

$$E_{rad} = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \frac{(R_n - G)}{\lambda} \quad (7)$$

$$E_{aero} = \frac{86.4}{\lambda} \frac{1}{\Delta + \gamma} \frac{\rho c p}{r a} (ea - ed) \quad (8)$$

La velocidad del viento se consideró nula debido a que las pruebas fueron realizadas en un lugar cerrado, libre de corrientes de aire; entonces la evaporación aerodinámica ( $E_{aero}$ ) es igual a cero, y sólo se tomó en cuenta el valor de la evaporación por radiación ( $E_{rad}$ ). Para obtener las componentes de la  $E_{rad}$  se tienen las siguientes ecuaciones:

Cálculo de la presión de saturación de vapor  $e_a$

$$e_a = 0.61078e^{\left(\frac{17.27T}{T+237.3}\right)} \quad (9)$$

Cálculo del gradiente de presión de vapor  $\Delta$

$$\Delta = \frac{4098e_a}{(T + 237.3)^2} \quad (10)$$

Cálculo de la constante psicométrica  $\gamma$

$$\gamma = \frac{cpP}{\varepsilon\lambda} \times 10^{-3} \quad (11)$$

Calor latente de vaporización

$$\lambda = 2.501 - 0.002361T \quad (12)$$

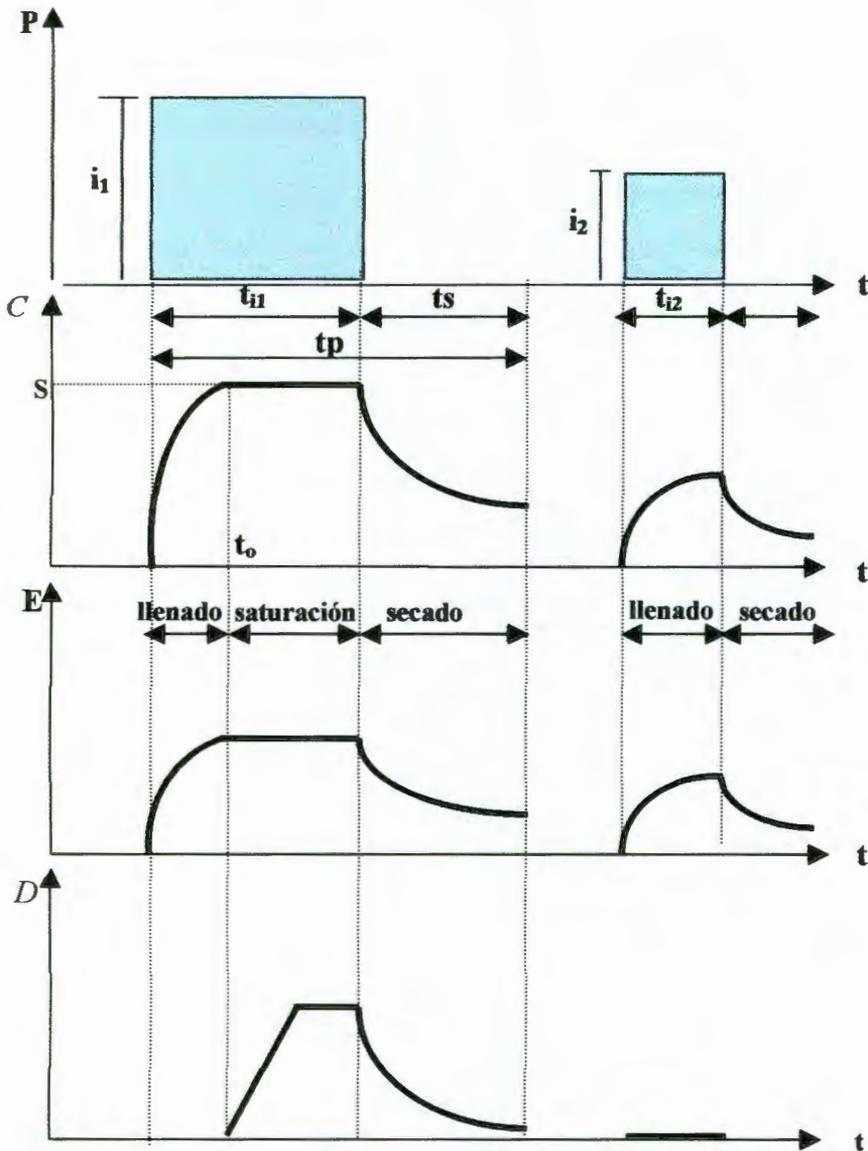
Cálculo del flujo de calor del suelo  $G$

$$G = 0.38(T_i - T_{i-1}) \quad (13)$$

Un ejemplo del cálculo numérico de la evaporación potencial se puede ver en el apéndice (Anexo 2, pág. 78), así como la lista de símbolos (Anexo 1, pág.77).

### **2.3 Comportamiento físico del modelo de intercepción para un lecho de residuos orgánicos.**

Para una tormenta dada con precipitación constante ( $P$ ), el comportamiento físico se muestra en la gráfica de la figura 2.3. En esta figura se pueden distinguir tres periodos importantes en los cambios de las tendencias de las curvas. En la primera fase (Fase I), el lecho es llenado por la precipitación ( $P$ ) y vaciado solamente por la evaporación, ya que no existe drenaje y, por tanto, el almacenamiento de agua en el lecho ( $dC/dt$ ) aumenta hasta llegar a su capacidad máxima, presentándose esta última justo cuando comienza el drenaje. Una vez que se presenta el drenaje, en el tiempo  $t_0$ , el lecho puede seguir almacenando agua pero en menor proporción hasta que llega el momento en que deja de almacenar agua y todo lo que entra ( $P$ ) es igual al drenaje ( $D$ ); a este periodo le llamamos Fase II. En la Fase III, una vez que la lluvia termina, la capacidad de intercepción ( $C$ ) decrece debido al drenaje y la evaporación.



$i_1$  = Intensidad de la tormenta 1  
 $i_2$  = Intensidad de la tormenta 2  
 $t_{i1}$  = Duración de la tormenta 1  
 $t_{i2}$  = Duración de la tormenta 2  
 $t_p$  = Tiempo total del evento  
 $S$  = Capacidad máxima  
 $t_o$  = Inicio del drenaje

Figura 2.3 Comportamiento físico ideal de la capacidad de interceptación (C), evaporación (E) y drenaje (D) de un lecho de residuos vegetales bajo una precipitación constante (P).

## 2.4 Modelo matemático para determinar la capacidad de almacenamiento de un lecho de residuos vegetales

De acuerdo a las tres fases que se distinguen en el comportamiento físico de la intercepción de agua en un lecho o *mulch*, descritas en la sección 2.3, y en base al modelo propuesto por Rutter y al balance de masa, se presentan a continuación las ecuaciones que describen dicho comportamiento:

### Fase I

El lecho o mulch, considerado como un reservorio, es llenado por la precipitación ( $P$ ) y vaciado por la evaporación ( $E_p$ ): en esta fase la capacidad de intercepción ( $C$ ) no ha alcanzado su capacidad máxima de intercepción ( $S$ ) y se tiene entonces que el cambio de la capacidad con respecto al tiempo queda definido como:

$$C \leq S$$

$$\frac{dC}{dt} = P - E_p \frac{C}{S} \quad (14)$$

### Fase II

El reservorio es llenado por la precipitación ( $P$ ) y vaciado por la evaporación  $E_p$  y el drenaje ( $D$ ), hasta que la lluvia para:

$$C = S$$

$$\frac{dC}{dt} = P - k \exp(bC) - E_p \frac{C}{S} \quad (15)$$

### Fase III

Una vez que la lluvia termina el reservorio es vaciado por el drenaje ( $D$ ) y la evaporación  $E_p$ :

$$\frac{dC}{dt} = -k \exp(bC) - E_p \frac{C}{S} \quad (16)$$

## 2.5 Consideraciones para del estudio experimental

De los componentes que integran el balance de masa se asumió que la evaporación es igual a cero ya que el desarrollo experimental fue bajo un lugar cerrado, libre de radiaciones directas del sol y considerando que la evaporación que se suscitara en el periodo de pruebas fuera mínima para poder ser considerada como despreciable.

El escurrimiento cortical se consideró despreciable debido a que los materiales empleados son residuos de origen orgánico sin ramas mayores ni troncos.

Se estudió el lecho o *mulch* como un sistema entero, aislado de sus fronteras: suelo y atmósfera lo anterior porque el objetivo de estudio ha sido investigar la intercepción, tanto su evolución como la capacidad máxima.

Se asumió que las propiedades físicas de los materiales empleados como lechos no cambiaron durante el tiempo de prueba.

### 3. MATERIALES Y METODOLOGÍA

#### 3.1 Materiales empleados como cubiertas o *mulch*

Sin duda, existen muchos materiales que pueden tener la función de cubiertas vegetales o *mulch*; sin embargo, en el presente trabajo se han propuesto tres materiales de origen orgánico: aserrín, hojas de álamo y pasto silvestre, ya que su degradación no sería perjudicial para el suelo, que es una de las fronteras inmediatas con la cubierta, además del interés por acercarnos a conocer el comportamiento que presentan dichas cubiertas, sobre todos porque son diferentes en geometría y porosidad.

Para cada material se determinó la humedad inicial (antes de comenzar cualquier prueba), densidad y granulometría con la finalidad de conocer el tamaño predominante de los elementos que componen el lecho. Además de identificar la forma geométrica de los elementos que integran el lecho, ya que dependiendo de esto variará la forma en como queden acomodados los elementos en el área de estudio, dando lugar a porosidades diferentes.

##### 3.1.1 Aserrín

Material producto del tallado de madera de origen del pino. Fueron recolectadas muestras de dos madererías de la Ciudad de Querétaro De estas muestras se obtuvo un análisis granulométrico para determinar el diámetro predominante del material. Su granulometría se obtuvo después de cribar el material a través de 12 mallas con diámetro de tamiz de 0.053 mm a 9.52 mm. La forma geométrica de sus partículas es como sigue: en forma de espiral, para las partículas más grandes, hasta cuadros o círculos pequeños, cuando las partículas son pequeñas.

Este material es propuesto ya que, siendo un desecho del tallado de la madera, bien puede ser utilizado como cubierta en el suelo para interceptar agua de lluvia. En la tabla 3.1 se muestran las características de origen de las muestras utilizadas.

**Tabla 3.1 Datos de origen de las muestras de aserrín**

	<b>Primera muestra (As1)</b>	<b>Segunda muestra (As2)</b>
<b>Origen</b>	Maderería ubicada en Av. Pasteur	Maderería ubicada en Av. San Roque
<b>Fecha de recolección</b>	Febrero de 2002	10 de julio de 2003

### **3.1.2 Hojas de álamo**

Existen varios tipos de álamo, sin embargo, para el presente trabajo se utilizaron hojas de álamo negro por ser el tipo más común en Querétaro. Su nombre científico es *populus nigra L.*, de la familia *Salicaceae*. Son árboles hasta de 30 m de altura, con ramificación abundante, de hojas simples, alternas, caducas, cuya forma es romboidal (<http://www.rjbalcala.com/fdf25.htm>).

#### **Muestra recolectada:**

Hojas de álamo recolectadas de dos árboles diferentes, sus datos de origen se muestran en la tabla 3.2. Las hojas fueron puestas a secar al sol para ser usadas posteriormente como lecho, semejando así las hojas secas que, al caer naturalmente del árbol, forman una alfombra en el suelo.

Para determinar la distribución de tamaño con base en la forma de las hojas, se hizo una relación adimensional (L/B), considerando la hoja en forma de rombo, siendo B el lado corto transversal (ancho) y L el lado longitudinal (largo). En total, se definiendo diez marcas de clase diferentes.

Las hojas de álamo, al igual que el aserrín, fueron colocados en el área de estudio por vaciado, permitiendo que el acomodo se realizara por gravedad; una vez cubierto un espesor de lecho (Z) que se define en la matriz de experimentos de la Tabla 3.4, para la prueba en estudio, la superficie del material era enrasada para dar un terminado horizontal (Fig. 3.1).

**Tabla 3.2 Datos del origen de las muestras de álamo**

	<b>Primera muestra (H1)</b>	<b>Segunda muestra (H2)</b>
<b>Origen</b>	Casa ubicada en la Col. Reforma Agraria, Qro.	Av. 8 en la Col. Lomas de Casa Blanca, Qro.
<b>Fecha de recolección</b>	marzo de 2003.	noviembre de 2003.
<b>Diámetro del tronco</b>	120 cm	160 cm



**Figura 3.1 Materiales colocados en el área de estudio justo antes de iniciar la simulación bajo la lluvia (izq. Aserrín, der. Hojas de álamo).**

### 3.1.3 Pasto

Nombre científico: *Aristida divaricata* Humb. & Bonpl.ex Willd., Enum.PI.99.1809. Familia Poaceae. Plantas perennes; tallos de 25 a75 cm de alto, erectos o postrados y extendidos, hojas principalmente basales, rectas o

curvadas, vainas redondeadas glabras, láminas foliares de 10 a 20 cm, casi 1 mm de ancho. Habitat: pastizal, matorral xerófilo y bosque de encino, pino y enebro; en altitudes de 1890 a 2900 m (Herrera, 2001). Para facilitar la identificación de este material, en el presente trabajo se le llamará solamente pasto.

#### Muestra recolectada:

Este material se utilizó como lecho tratando de conservar su condición natural de humedad, por lo que fue necesario ir al campo y traer la muestra para ser utilizada el mismo día -o por muy tarde, el siguiente- protegiendo la muestra en bolsas, para evitar que perdiera humedad. La muestra se recolectó a un costado de la carretera Corregidora – Huimilpan, en el estado de Querétaro, a 7.3 km del puente de Constituyentes hasta llegar frente a una comunidad llamada La Noria (Fig. 3.2). El primer día de recolección fue el 29 de agosto de 2003 y ese día se tomó una muestra para caracterizarla en el Herbario de la UAQ se midió la altura de los tallos de muestras representativas para determinar la altura promedio del pasto.

Al pasto recolectado se le cortó la raíz y se le retiró cualquier cantidad de suelo que pudiera contener después de arrancarlo del mismo, esto para evitar que tanto la raíz como el suelo pudieran absorber agua y por lo tanto, influir en los resultados experimentales.

Por la dificultad de reproducir el acomodo del pasto como en su lugar de origen, la forma de colocarlo fue dejando caer los tallos sobre el área de estudio y para que el área fuera cubierta de manera uniforme (tratando de que no se formaran áreas muy densas, dejando otras huecas sino que fuera lo más homogéneo posible), se manipuló un poco el acomodo tratando de darle forma de red (Fig. 3.3).



**Figura 3.2 Lugar de origen del pasto utilizado en las pruebas experimentales.**



**Figura 3.3 Pasto colocado en el área de estudio justo antes de comenzar la prueba.**

### 3.2 Equipo y material empleado

Los experimentos se llevaron a cabo en el laboratorio de Hidráulica de la Facultad de Ingeniería de la UAQ y para su realización se utilizó el siguiente equipo y material:

- Simulador de lluvia tipo Norton  
Dispositivo existente en el laboratorio de Hidráulica de la Facultad de Ingeniería de la UAQ. Este simulador permite crear precipitaciones entre un rango de 25 oscilaciones por minuto ( $25 \text{ c min}^{-1} = 9.8 \text{ mm h}^{-1}$ ) y 175 oscilaciones por minuto ( $175 \text{ c min}^{-1} = 70.9 \text{ mm h}^{-1}$ ), Bautista, 2002.
- Arreglo de cuatro tambos para colocar cada material que funcionara como lecho, de tal forma que el centro de cada tambo correspondiera al centro de cada aspersor del simulador.
- Báscula electrónica con capacidad de 5 kg y precisión de 1 g.
- Higrómetro electrónico.
- Pluviómetro.
- Probetas.
- Plomada, flexómetro, cronómetro.
- Vasijas para recolectar muestras.
- Mallas hechas de tela para sostener los lechos.
- Horno.
- Computadora e impresora.
- Vehículo para la recolección de muestras.

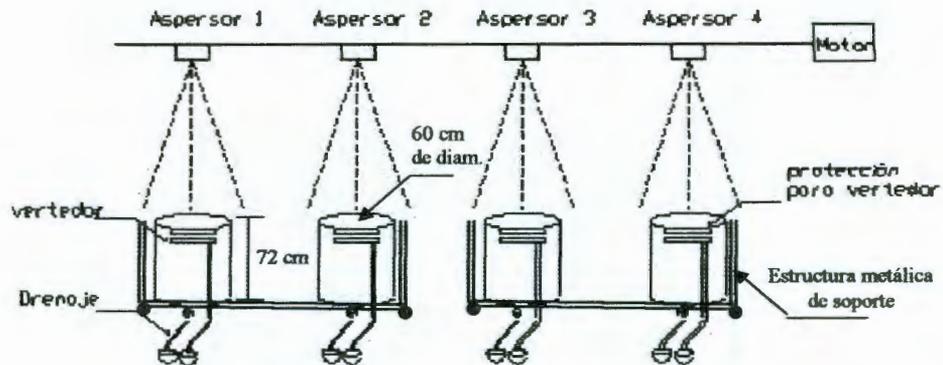
### 3.3 Experimentos

#### 3.3.1 Consideraciones para el diseño de experimentos

El desarrollo experimental se llevó a cabo en cuatro fases:

- **Experimentos preliminares:** pruebas para calibración del simulador de lluvia en el área de estudio.
- **Primera etapa:** se planteó la matriz de experimentos con la finalidad de determinar la capacidad de intercepción de agua de lluvia, por lo que se trabajó con las cubiertas vegetales de forma aislada, es decir, sin la intervención del suelo como frontera.
- **Segunda etapa:** se estudió el comportamiento de la capacidad de almacenamiento ( $C$ ) y del drenaje ( $D$ ) en el lecho de residuos vegetales, una vez que la lluvia termina de ocurrir, para determinar los coeficientes de drenaje ( $k$ ) y percolación ( $b$ ).

Las variables que se midieron en cada corrida experimental fueron: peso inicial de la cubierta, peso final de la cubierta, tiempo inicial de drenado, volumen drenaje cada 5 minutos, temperatura, presión y humedad del medio ambiente. Para medir la intercepción, en la primera etapa experimental, por cada aspersor del simulador se colocaron cuatro tambos de plástico de diámetro promedio de 60 cm y altura de 72 cm, colocados sobre una estructura metálica que sirve como soporte y con llantas para facilitar el traslado de éstos. La altura de piso a la parte superior de cada uno es de un metro con la finalidad de que se tenga lluvia uniforme de acuerdo al diseño del simulador (Bautista, 2002). Cada tambo consta de una válvula que permite la salida del drenaje a través de una manguera, así como de un vertedor para escurrimientos superficiales (Fig. 3.4).



**Figura 3.4 Arreglo de tambos en donde se realizaron las pruebas experimentales.**

Debido a la irregularidad del fondo de cada uno de los tambos, lo cual dificultaba la precisión en las medidas del drenaje, se decidió vaciar una pequeña cantidad de agua dentro de ellos (antes de comenzar cualquier prueba) con la finalidad de dejar un espejo de agua justo cuando dejaran de drenar por sí solos. Esto permitiría que, a la entrada de agua en ellos, el drenaje fuera efectivo.

Para sostener el lecho de residuos vegetales se fabricaron mallas de tela (manta) que fueron colocadas en cada uno de los tambos. El agua drenada fue recolectada en vasijas de plástico para medir posteriormente su volumen en probetas.

En las figuras 3.5 y 3.6 se muestran fotos de dicho arreglo.

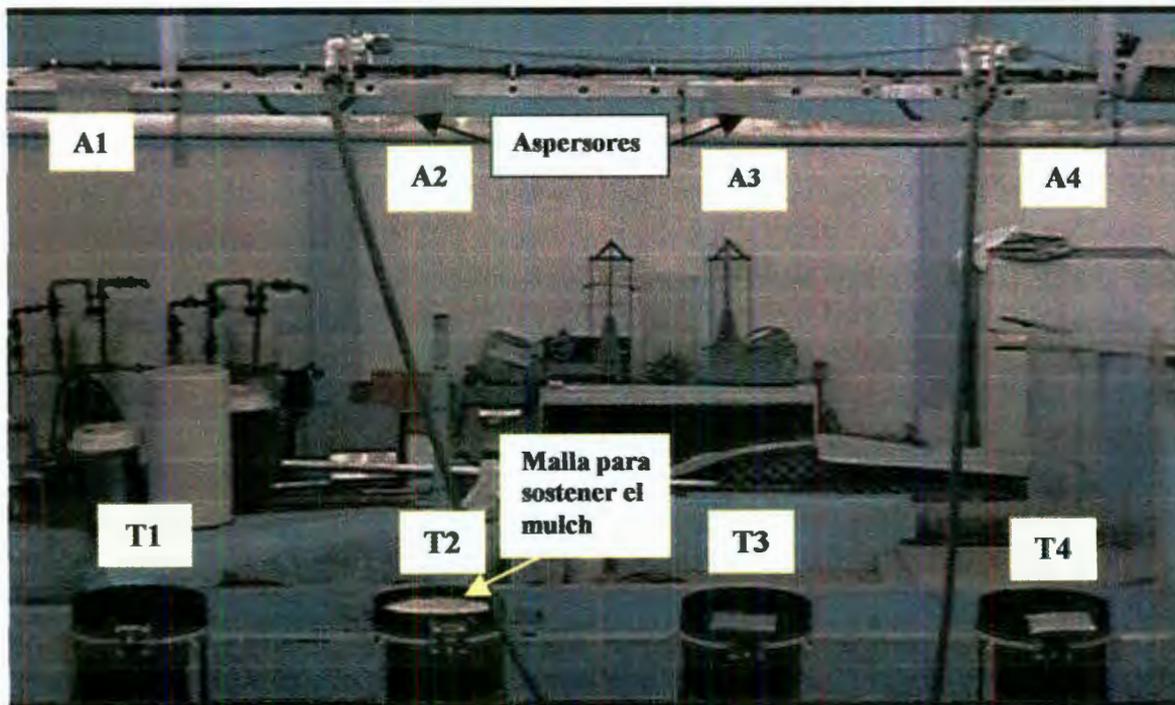


Figura 3.5 Arreglo de cuatro tambos, considerando el orden señalado para su identificación al igual que en los aspersores.

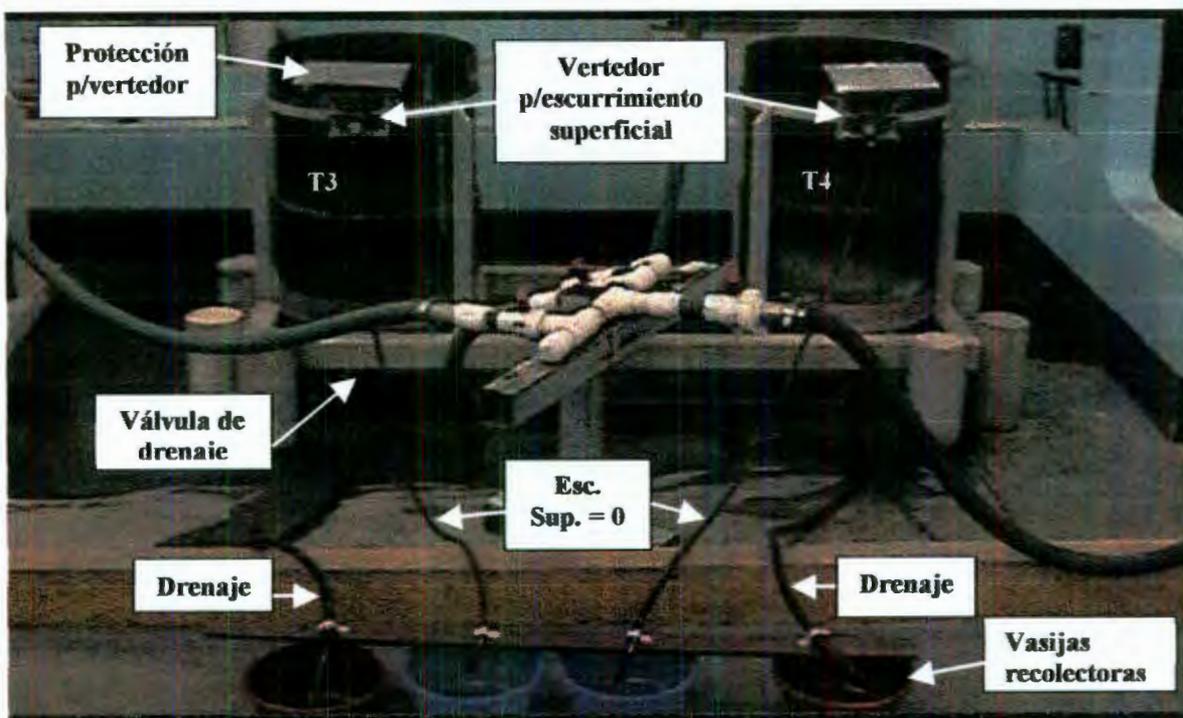


Figura 3.6 Aditamentos de medición.

### 3.3.2 Experimentos preliminares

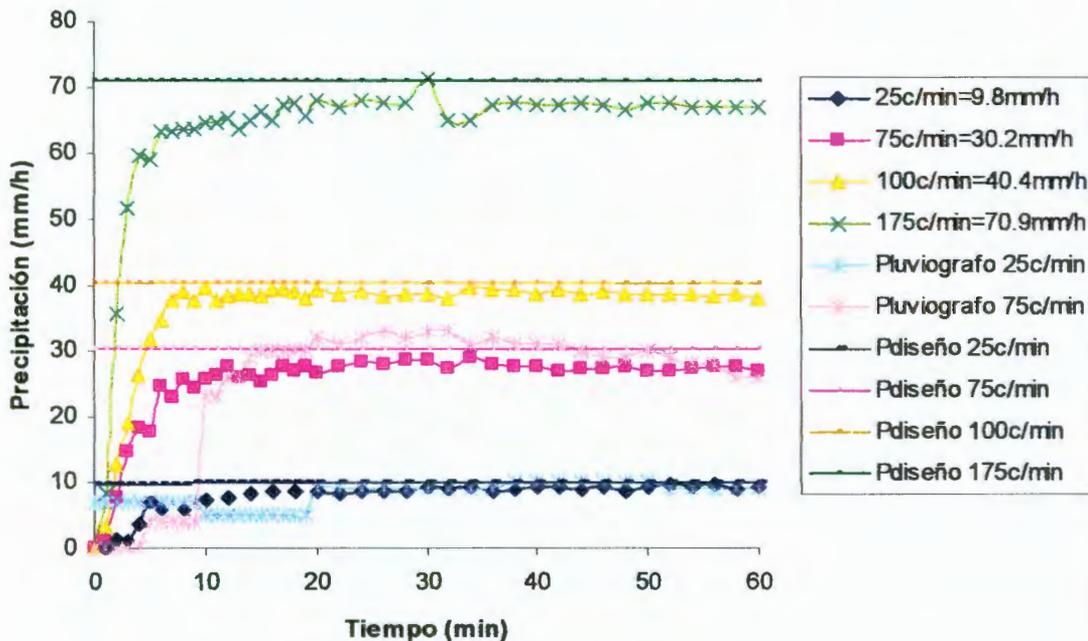
Para la simulación de la lluvia se escogieron cuatro intensidades que fueran representativas de las tormentas que suceden en la Ciudad de Querétaro y que estuvieran dentro del rango que el simulador de lluvia puede reproducir. Los valores escogidos se muestran en la tabla 3.3, dónde, en la primera columna la intensidad de la precipitación está dada en número de oscilaciones por minuto y su correspondiente intensidad en milímetros por hora está dada en la segunda columna (Bautista, 2002).

**Tabla 3.3 Intensidades de precipitación utilizadas en la experimentación.**

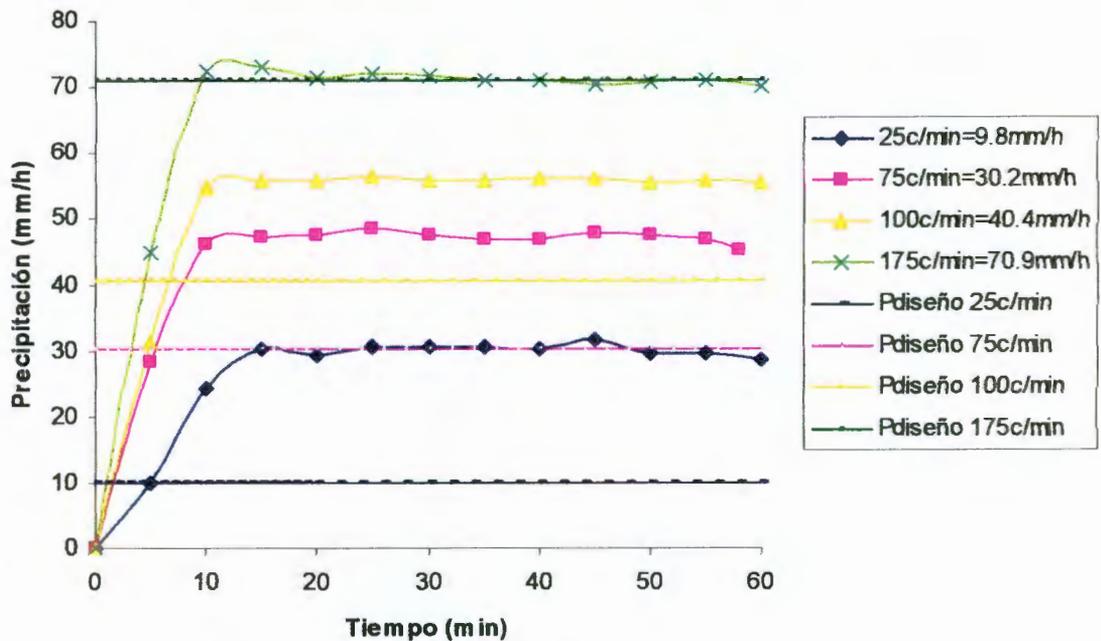
<b>Intensidad (en oscilaciones) c min<sup>-1</sup></b>	<b>Intensidad mm h<sup>-1</sup></b>
25	9.8
75	30.2
100	40.4
175	70.9

Con la finalidad de conocer el volumen que entra en cada tambo durante el periodo de prueba, se realizó la calibración de los mismos. Mediante una plomada se buscó que el centro de cada tambo coincidiera con el centro de cada uno de los aspersores del simulador, para que su posición quedara definida en las pruebas futuras. Se hizo llover con cada intensidad sobre los cuatro tambos vacíos y se midió su evolución en el tiempo. Esta calibración se realizó antes del comienzo de los experimentos correspondientes a la primera etapa y posteriormente, al concluirlos, ya que en el transcurso de las corridas para los experimentos se pudo notar que las intensidades proporcionadas por el simulador resultaron muy variables.

En las figuras 3.7 y 3.8 puede notarse que, en todos los casos, se necesitaba un tiempo aproximado de 10 min, para tener una lluvia uniforme. Al comparar las dos calibraciones se pudo notar que el valor de las intensidades dadas por el simulador cambiaron, desviándose con respecto a la precipitación de diseño del simulador ( $P_{\text{diseño}}$ ) y aumentando el valor de intensidad, principalmente en las siguientes: para la intensidad de  $9.8 \text{ mm h}^{-1}$ ; en la calibración de octubre, por ejemplo, este valor aumentó tres veces dando una precipitación promedio de  $30 \text{ mm h}^{-1}$ , la de  $30.2 \text{ mm h}^{-1}$  aumentó hasta  $47 \text{ mm h}^{-1}$  y la de  $40.4 \text{ mm h}^{-1}$  aumentó hasta  $55.7 \text{ mm h}^{-1}$ .



**Figura 3.7** Calibración de los tambos antes de iniciar la primera etapa experimental ( $P_{\text{diseño}}$ =precipitación de diseño del simulador), marzo de 2003.



**Figura 3.8 Calibración de los tambos al concluir la primera etapa experimental (Pdiseño=precipitación de diseño del simulador), octubre de 2003.**

### 3.3.3 Primera etapa

El estudio experimental se desarrolló con tres variables independientes definidas como sigue:

Intensidad de lluvia (P). En cuatro variaciones.

Lecho. En tres variaciones.

Espesor del lecho (Z). En dos variaciones.

De lo anterior deducimos la matriz de experimentos con un total de 24 combinaciones posibles, así, como tres repeticiones para cada combinación (Tabla 3.4).

**Tabla 3.4 Matriz de experimentos correspondientes a la primera etapa**

No. De Exp.	P Int. LI. ( $c\ min^{-1}$ )	Lecho o <i>mulch</i>	Z mulch (m)
1	25	Aserrín	0.05
2	25	Aserrín	0.1
3	25	Hojas	0.05
4	25	Hojas	0.1
5	25	Pasto	0.05
6	25	Pasto	0.1
7	75	aserrín	0.05
8	75	aserrín	0.1
9	75	Hojas	0.05
10	75	Hojas	0.1
11	75	Pasto	0.05
12	75	Pasto	0.1
13	100	aserrín	0.05
14	100	aserrín	0.1
15	100	Hojas	0.05
16	100	Hojas	0.1
17	100	Pasto	0.05
18	100	Pasto	0.1
19	175	aserrín	0.05
20	175	aserrín	0.1
21	175	Hojas	0.05
22	175	Hojas	0.1
23	175	Pasto	0.05
24	175	Pasto	0.1

En la tabla 3.4 el "No. de Exp." corresponde a cada corrida experimental y las repeticiones se hicieron eligiendo tres aspersores: A1, A3 y A4, dejando A2 como control, es decir, sin lecho vegetal. El tiempo en el cual se sometieron a prueba las cubiertas bajo la precipitación, fue de una hora, y en todos los casos el agua utilizada para simular la lluvia fue agua potable.

El orden en el que se realizó cada corrida experimental indicada en la tabla 3.4 fue de acuerdo a la disponibilidad de los materiales a usar como cubiertas. Se realizaron las pruebas para los lechos de aserrín y hojas de álamo en primera instancia y se dejaron al final los experimentos del pasto, ya que para estos

últimos fue necesario realizar las pruebas inmediatamente a la recolección del mismo.

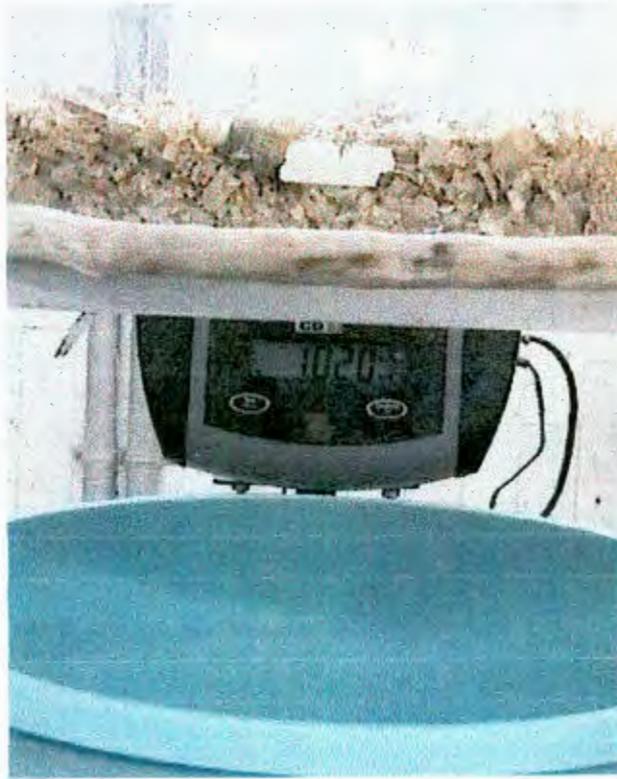
Para garantizar que el simulador funcionara a la presión e intensidad adecuada se dejaba transcurrir un tiempo de 10 min sin que fuera parte del tiempo efectivo de la prueba, ya que los tambos eran cubiertos con plástico para evitar la entrada de agua. Una vez transcurridos los 10 min, se quitaban los plásticos y comenzaba la prueba.

El tiempo inicial de drenado para cada tambo se definió con ayuda de un cronómetro. Se hicieron mediciones de volumen de drenado cada cinco minutos. Se tomaron tres lecturas de temperatura, presión y humedad del medio ambiente a lo largo de la prueba. Una vez que terminaba la lluvia, se procedía a quitar el lecho de cada tambo y pesarlo para determinar el agua almacenada al final de la prueba, a esta capacidad la definimos como capacidad máxima de almacenamiento ( $S$ ).

### **3.3.4 Segunda etapa experimental: experimentos para determinar los coeficientes de drenaje ( $k$ ) y percolación ( $b$ )**

Para estudiar el comportamiento de la capacidad de intercepción y del drenaje, una vez que la lluvia termina, se efectuaron al menos tres pruebas para cada material.

Se utilizaron las cubiertas otra vez en forma aislada del suelo, colocándolas en las mallas de tela y confinando el material con un cilindro de acrílico de 36 cm de diámetro, de tal forma que el área cubierta de material fuera de 0.1 m<sup>2</sup>. La malla con el lecho se colocó sobre una estructura que le sirvió de soporte, y debajo de la cual se puso la báscula para medir el drenaje (Fig. 3.9). Se colocó una cantidad conocida de material en el área de la malla, de tal forma que el lecho cubriera una altura o espesor de 5 cm. La condición inicial de los materiales fue la misma que se describió en la sección 3.1. La lluvia fue simulada con dos atomizadores manuales, manipulando éstos en intervalos de tiempo iguales para poder representar la precipitación constante que se había aplicado en experimentos anteriores con el simulador (Fig. 3.10), el valor promedio de la intensidad aplicada con los atomizadores estuvo en un rango de 70 mm h<sup>-1</sup> a 79 mm h<sup>-1</sup>. La cantidad de agua que entraba en el lecho siempre fue conocida y una vez que el lecho era saturado y presentaba un drenaje constante, se daba por terminada la tormenta; es decir se paraba la lluvia. Después de esto se midió el drenaje hasta que cesara y, una vez que esto ocurría, se retiraba el material para obtener su peso final (Fig. 3.11)



**Figura 3.9** Lecho sobre la malla de tela y montado en la estructura soporte para medir su drenaje durante y después de la tormenta.



**Figura 3.10** Lluvia aplicada manualmente con dos atomizadores.



**Figura 3.11** Peso del lecho al final de la prueba.

### **3.4 Metodología para la obtención de los valores de la capacidad de interceptación, resultado del balance de masa**

Para obtener el valor de la capacidad de interceptación ( $C$ ) se utilizó la ecuación (1), donde los elementos conocidos de las pruebas experimentales fueron: la precipitación ( $P$ ), el drenaje ( $D$ ), el escurrimiento superficial fue igual a cero ( $R=0$ ) –debido a que en ninguna prueba experimental se presentó escurrimiento superficial– y, por último, la evaporación ( $E$ ) se consideró nula, debido a que las pruebas fueron realizadas en un lugar cerrado; por lo anterior al despejar la tasa de cambio de la capacidad de interceptación en el lecho ( $\Delta C$ ), la ecuación se reduce a:

$$\Delta C = P - D \quad (17)$$

En base a esta ecuación se obtuvo la interceptación del lecho cada 5 min y el almacenamiento total al cabo de una hora de simulación, para cada prueba que

integra la matriz de experimentos indicada en la Tabla 3.4. El resultado de las medidas realizadas en cada corrida experimental, así como el valor de la capacidad de intercepción ( $\Delta C$ ) cada 5 min, se puede ver en el apéndice (Anexo 3, pág. 80).

De todas la repeticiones para cada experimento que integra la matriz de experimentos (Tabla 3.4) se obtuvieron los promedios de la capacidad de intercepción en intervalos de 5 min para, con estos, determinar la evolución de la capacidad de intercepción ( $C$ ) para cada lecho en una hora de simulación. Además se obtuvieron los promedios de la capacidad máxima de intercepción ( $S$ ) para cada lecho e intensidad de precipitación.

### **3.5 Metodología para la elaboración del programa para calcular la intercepción de agua en un lecho**

Inicialmente, y en base a las tres fases descritas en sección 2.4, se realizó una hoja de cálculo para determinar el comportamiento de la capacidad de intercepción en el tiempo, utilizando los valores de la capacidad máxima de intercepción y de los coeficientes de drenaje y precolación, obtenidos de la experimentación. Para poder utilizar las ecuaciones (14), (15) y (16) era necesario conocer el tiempo inicial de drenado de cada material bajo cada intensidad de precipitación ya que este tiempo nos indicaba el instante en el que cada lecho alcanzaba la capacidad máxima de intercepción y así poder identificar la ecuación que debería utilizarse para cada fase de intercepción que se describió en la sección 2.4. El tiempo inicial de drenado se pudo conocer de las observaciones experimentales, sin embargo, no era funcional hacer la evolución de la capacidad para cada evento experimental en una hoja de cálculo porque se tenía que preparar un cálculo por cada evento de los 24 totales, además, de que era difícil poder generalizar el cálculo para cualquier otro evento con variantes diferentes (en

el caso que no se conociera su tiempo inicial de drenado); por lo tanto, se decidió hacer un programa de cómputo que pudiera arrojar resultados de la evolución de la capacidad en el tiempo, en base a los valores obtenidos de las pruebas experimentales y que pudiera determinar, por medio de las condicionantes que distinguen cada fase de intercepción (ver sección 2.4) e iteraciones, las ecuaciones por resolver de acuerdo a la fase en que se encontrara y que los valores resultados de las pruebas experimentales pudieran servir de insumos en las ecuaciones (14), (15) y (16).

El programa de cómputo se realizó en base a las tres fases descritas en la sección 2.4 y se elaboró en lenguaje de programación Fortran.

El programa necesita datos de entrada, los cuales fueron obtenidos de los resultados de la experimentación. Los datos que hay que ingresar al correr el programa son:

- El valor del almacenamiento máximo, cuando el lecho ya no retiene más agua,  $C_{\max}$  en mm.
- La intensidad de la precipitación en  $\text{mm h}^{-1}$ .
- Los valores de los coeficientes de drenaje ( $k$ ) en  $\text{mm s}^{-1}$  y percolación ( $b$ ) en  $\text{mm}^{-1}$ .

Las condiciones de frontera bajo las que se diseñó el programa son las siguientes:

- El valor inicial de la capacidad de intercepción es igual a cero ( $C_0 = 0$ ), que es cuando el lecho aún no ha interceptado agua.
- El programa termina de calcular para el primer valor del drenaje que es  $D \leq 0.002 \text{ mm min}^{-1}$ .

Los valores fijos con los que trabaja el programa son los siguientes:

- La duración de la tormenta es de 60 min, debido a que en todas las pruebas experimentales se tuvieron tormentas con este tiempo de duración.
- Para el paso de tiempo de las iteraciones en el programa, se hicieron pruebas con diferentes valores de este y se notó que con pasos de tiempo mayores a 0.001 s los resultados mostraban oscilaciones alrededor del valor de la capacidad máxima de intercepción, por lo que se decidió trabajar con un paso de tiempo de 0.001 s en el modelo, ya que con este paso de tiempo se obtuvieron resultados convergentes a los resultados experimentales.
- Los valores para el cálculo de la evaporación son:
  - Un gradiente de temperatura entre 20 y 25°C
  - Radiación neta,  $R_n = 100 \text{ Wm}^{-2} \text{ d}^{-1}$
  - Flujo del calor de suelo  $G = 0 \text{ MJm}^{-2} \text{ d}^{-1}$

El valor de la evaporación es muy pequeño en comparación con los valores del drenaje y la precipitación, por lo que este valor no modifica de manera apreciable el cálculo de la capacidad de intercepción, para mostrar un ejemplo del cálculo de la evaporación se utilizó un gradiente de temperaturas entre 20 y 25°C y una radiación neta mayor a 100  $\text{Wm}^{-2} \text{ d}^{-1}$  y el resultado fue una evaporación por radiación de 0.00047  $\text{mm min}^{-1}$ . El cálculo completo de la evaporación se puede ver en el apéndice.

La codificación del programa se muestra en el apéndice (Anexo 4, pág. 116).

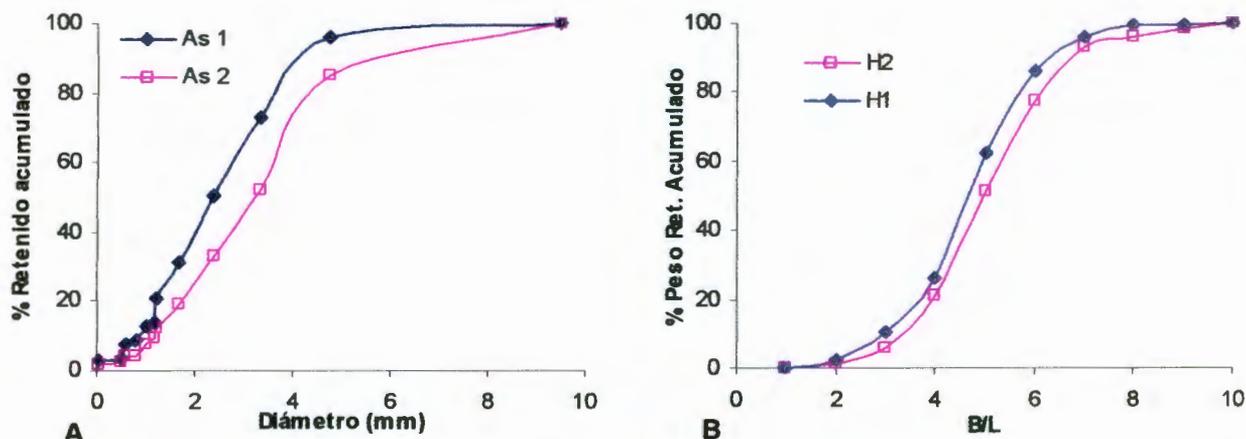
## 4.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Propiedades de forma, humedad y volumétricas de los materiales empleados como lechos

Debido a que el material recolectado en un muestreo no fue suficiente para la realización de todas las pruebas experimentales, fue necesario determinar las características de forma y de tamaño de los elementos que integraron cada lecho y, aún más, debido a que se hizo necesario recolectar en dos ocasiones tanto para el aserrín como para las hojas. Por lo anterior, se buscó la manera de visualizar las propiedades de forma y de tamaño de los lechos y además verificar que las muestras recolectadas tuvieran estas características semejantes, para que los resultados experimentales no variaran de manera significativa. Es así como, de acuerdo a la metodología descrita en la sección 3.1.1 y 3.1.2, se obtuvo una distribución de tamaños de manera semejante a una distribución granulométrica.

En términos generales, se puede decir que el aserrín y las hojas mostraron una distribución de tamaños uniforme, presentando curvas granulométricas que corresponden a materiales bien graduados. El diámetro predominante del aserrín fue entre 3.3 y 4.8 mm; mientras que en las hojas el mayor porcentaje de la relación de ancho entre largo (B/L) fue para un rango de valores de 0.8 a 0.94, donde el largo de las hojas es mayor que el ancho, considerando una figura romboidal. La figura 4.1 muestra las curvas granulométricas de ambos materiales.

Para el caso del pasto, no fue posible hacer esta semejanza de distribución granulométrica, por lo que, sólo se determinó la altura de sus tallos (como se describió en la sección 3.1.3) resultando una variación de valores en un rango de 20.5 cm a 60 cm, teniendo como promedio una altura de 30 cm.



**Figura 4.1 Granulometría de los materiales empleados como lechos. A) Granulometría del aserrín para la primera (As1) y segunda muestra (As2) recolectadas. B) Granulometría de las hojas de álamo para la primera (H1) y segunda muestra (H2) recolectadas.**

El resultado promedio de los parámetros medidos de humedad y densidad de cada uno de los materiales se resume en la tabla 4.1. El material que tiene mayor densidad es el aserrín que, en comparación con las hojas, es cuatro veces más denso, en tanto que el pasto es tres veces más denso que las hojas. El pasto presenta mayor humedad inicial ya que se utilizó después de ser cortado, con la finalidad de conservar la humedad natural de sitio.

**Tabla 4.1 Humedad inicial y densidad de los materiales empleados como lechos.**

	Humedad inicial	Densidad
	%	kg m <sup>-3</sup>
Aserrín	10	60
Hojas	15	15
Pasto	158	48

## 4.2 Capacidad máxima de almacenamiento

La capacidad máxima de almacenamiento de cada lecho (de los experimentos de la tabla 3.4), producto del balance de masa, se presenta en la tabla 4.2. Los valores de  $S$  varían de acuerdo al espesor del lecho y a la intensidad de lluvia aplicada. Para las hojas de álamo con un espesor de lecho  $Z=5$  cm se tienen valores promedio de  $S$  que oscilan entre 1.0 mm y 3.9 mm mientras que para  $Z=10$  cm este valor presentó un incremento promedio de 1.5. En el pasto con un  $Z=5$  cm los rangos de valores promedio de  $S$  son de 2.4 a 4.7 mm y con  $Z=10$  cm la capacidad máxima creció 1.3 veces. Para el aserrín, por último, que es el material que captó más agua, su rango de valores promedio de  $S$ , para  $Z=5$  cm, resultó entre 6.8 mm y 10.9 mm y se incrementó dos veces para  $Z=10$  cm. Es importante mencionar que para el aserrín con un espesor de lecho de 5 cm y una precipitación de  $9.8 \text{ mm h}^{-1}$ , no llegaron a mojarse todas las partículas del lecho por lo que este material no alcanzó su capacidad máxima.

**Tabla 4.2 Capacidad máxima de almacenamiento al término de la tormenta ( $S$ ) en mm para tres lechos de residuo orgánico bajo cuatro intensidades de lluvia, producto del balance de masa.**

Lecho o mulch	Z cm	Capacidad de almacenamiento en mm ( $S$ )				Capacidad media en mm ( $S$ )				Desviación estándar			
		Para cada precipitación				9.8	30.2	40.4	70.9	9.8	30.2	40.4	70.9
		9.8	30.2	40.4	70.9								
Aserrín (As)	5	5.4	4.4	6.7	11.0	7.0	6.8	8.9	10.9	1.7	2.0	1.7	0.5
		9.4	8.8	10.6	10.2								
		6.7	8.2	9.8	11.4								
	10	9.6	18.4	17.7	26.7	9.6	22.0	20.2	26.1	0.1	2.7	1.8	1.5
		9.7	23.7	21.4	24.0								
		9.5	24.3	21.6	27.6								
Hojas (H)	5	0.6	1.9	2.4	3.0	1.0	2.5	2.7	3.9	0.4	0.5	0.3	0.7
		1.2	2.6	2.6	4.5								
		1.5	3.2	3.2	4.4								
	10	1.1	2.5	3.6	5.7	2.1	3.2	4.0	4.9	1.0	0.6	0.5	0.6
		3.4	3.5	3.9	4.2								
		2.4	3.9	4.7	4.8								
Pasto (P)	5	1.9	2.0	2.2	4.0	2.4	3.2	3.2	4.7	0.5	1.3	0.9	0.5
		3.0	5.1	4.4	5.1								
		2.3	3.1	3.4	5.1								
	10	1.6	3.5	4.6	6.2	2.2	4.2	4.9	6.1	0.6	0.5	0.2	0.3
		3.0	4.7	5.1	5.6								
		2.1	4.6	4.9	6.4								

Los valores medios de la capacidad máxima de almacenamiento ( $S$ ) de la tabla 4.2 son mostrados en porcentajes con respecto a la precipitación total en las figuras 4.2 y 4.3. El material que intercepta el mayor porcentaje de lluvia es el aserrín, en segundo lugar está el pasto y por último, las hojas. En la fig. 4.2 para una altura del lecho igual a 5 cm, el aserrín tiene valores en un rango de 15.3% a 71.2%, el pasto de 6.6% a 24.1% y por último, las hojas de álamo de 5.5% a 10.5%. Mientras que para una altura del lecho de 10 cm, en la Fig. 4.3, el aserrín tiene valores de 36.7% a 98%, el pasto de 8.5% a 22% y las hojas de álamo de 6.9% a 21.2%.

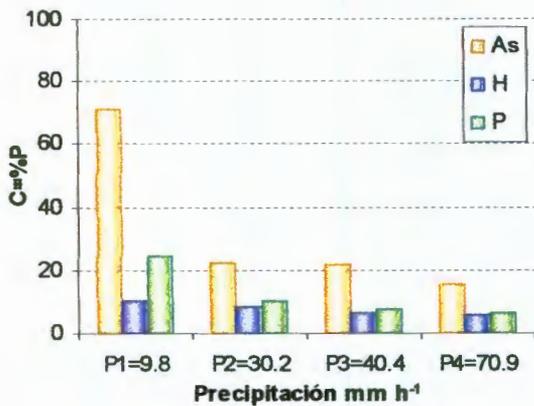


Figura 4.2 Porcentaje de la precipitación que es almacenado por cada uno de los lechos: aserrín (As), hojas de álamo (H) y pasto silvestre (P) para Z=5 cm.

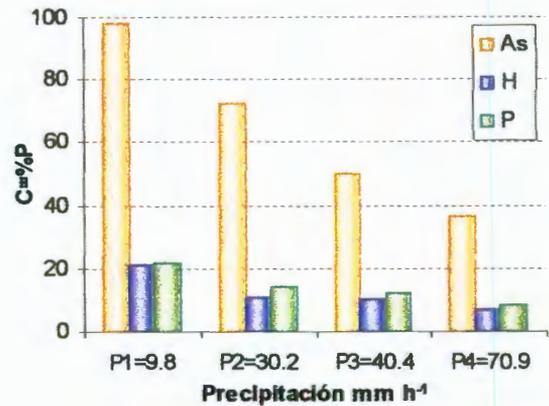


Figura 4.3 Porcentaje de la Precipitación que es almacenado por cada uno de los lechos: aserrín (As), hojas de álamo (H) y pasto silvestre (P) para Z=10 cm.

#### 4.2.1 Determinación de la capacidad máxima de intercepción

El valor acumulado de la capacidad de intercepción en la tormenta se muestra en las figuras 4.4 y 4.5. El valor de  $C$  obtiene su mayor incremento cuando la curva crece hasta que alcanza la saturación y a partir de este punto comienza a quebrar, es el instante en que comienza el drenaje en el  $t_0$ , de ahí en adelante la lluvia y el drenaje son aproximadamente igual y el agua en el lecho es relativamente estable, aunque existen fluctuaciones que se pueden deber a la energía cinética del impacto de las gotas de lluvia y por lo tanto la curva de  $C$  puede seguir creciendo pero en mucho menor proporción, hasta que no existe incremento de  $C$  y entonces obtiene su almacenamiento máximo ( $S$ ). El comportamiento descrito obedece a la ecuación (15), donde con una intensidad de precipitación constante, el valor de  $C$  incrementa hasta mantenerse constante.

El comportamiento de las curvas es muy similar en todos los casos, sólo varía la pendiente de la línea inicial de crecimiento y se puede notar que para las intensidades de precipitación más pequeñas la línea tiene menor pendiente que en las intensidades mayores, esto porque en intensidades más grandes el lecho alcanza más rápido la capacidad máxima ( $C_{max}$ ). Los valores de  $s$  fueron dados en la tabla 4.2.

En la figura 4.4 se presenta el valor de  $C$  acumulado para una precipitación de  $9.8 \text{ mm h}^{-1}$  con  $Z=5 \text{ cm}$  y  $Z=10 \text{ cm}$ . Cuando el espesor de lecho es de  $5 \text{ cm}$ , el material que tardó más tiempo en alcanzar su capacidad máxima de intercepción fue el aserrín, aunque se puede notar que probablemente aún pudiera seguir almacenando agua ya que la curva no llega a estabilizarse totalmente en comparación con las curvas correspondientes a las hojas y el pasto. Para  $Z=10 \text{ cm}$  se aprecia que para el aserrín, la curva de intercepción siempre creció y no quebró para el tiempo total de tormenta, es decir que no terminó de almacenar agua y por lo tanto, no llegó a su capacidad máxima ( $C_{max}$ ) y, en consecuencia, no hubo drenaje.

En la figura 4.5 se muestra el valor de  $C$  acumulado para una precipitación de  $70.9 \text{ mm h}^{-1}$  con  $Z=5 \text{ cm}$  y  $Z=10 \text{ cm}$ . Para esta precipitación todos los materiales alcanzaron la  $C_{max}$  dentro de los primeros cinco minutos, excepto el aserrín con  $Z=10 \text{ cm}$ , que tardó alrededor de  $15 \text{ min}$  en obtener su capacidad máxima.

Bajo cualquier combinación de variables (precipitación y espesor de lecho) el material que obtuvo el valor más grande de intercepción máxima fue el aserrín, le siguió el pasto y por último las hojas de álamo. Estos resultados dependieron principalmente de la porosidad del material, ya que al colocarlos en el área de estudio se podía observar fácilmente que para el lecho de hojas había más

huecos, entre sus elementos, a diferencia del aserrín; en donde en este último, debido a la geometría y tamaño de sus partículas existían menos huecos entre sus elementos.

En relación al espesor del lecho, el incremento de la capacidad máxima de intercepción (promedio de todas las intensidades de precipitación) de  $Z=5$  cm a un  $Z= 10$  cm fue como sigue para cada material: en el aserrín incrementó 2.6 veces, para las hojas fue de 1.5 y en el pasto el incremento fue de 1.3 veces. En general se podría decir que al aumentar el espesor de lecho al doble, la capacidad de intercepción aumenta casi al doble también; siendo que para todos los materiales el incremento promedio fue de 1.7.

Las curvas del valor de la capacidad acumulada en el tiempo para las intensidades de precipitación de 30.2 y 40.4 mm h<sup>-1</sup> se pueden ver en el apéndice (Anexo 5, pág. 127).

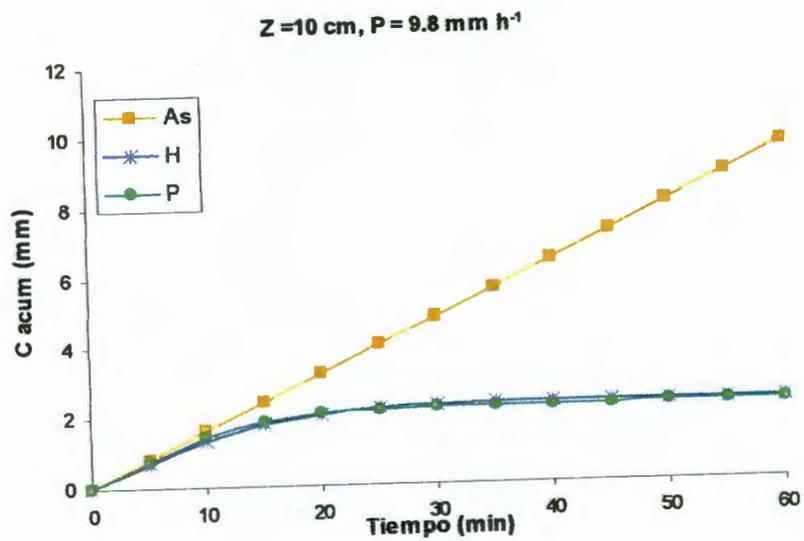
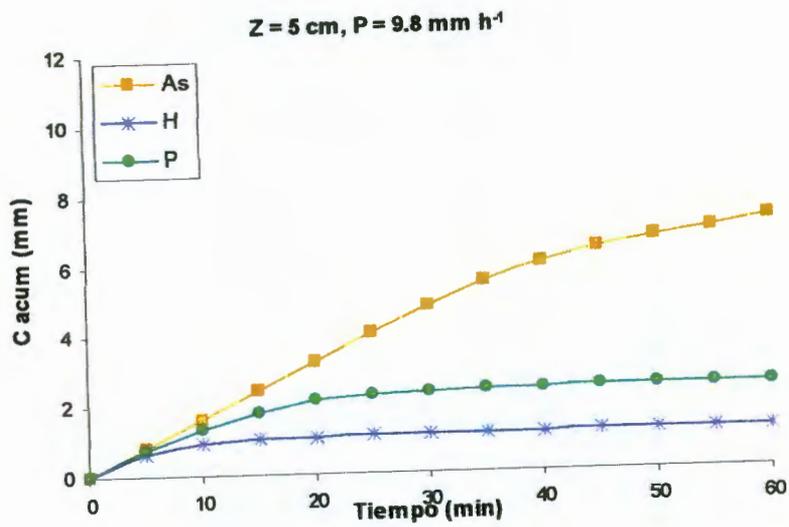


Figura 4.4 Capacidad de intercepción acumulada para una precipitación de 9.8 mm h<sup>-1</sup>, con espesores de lecho de Z=5 cm y Z=10 cm, para cada material: aserrín (As), hojas (H) y pasto (P).

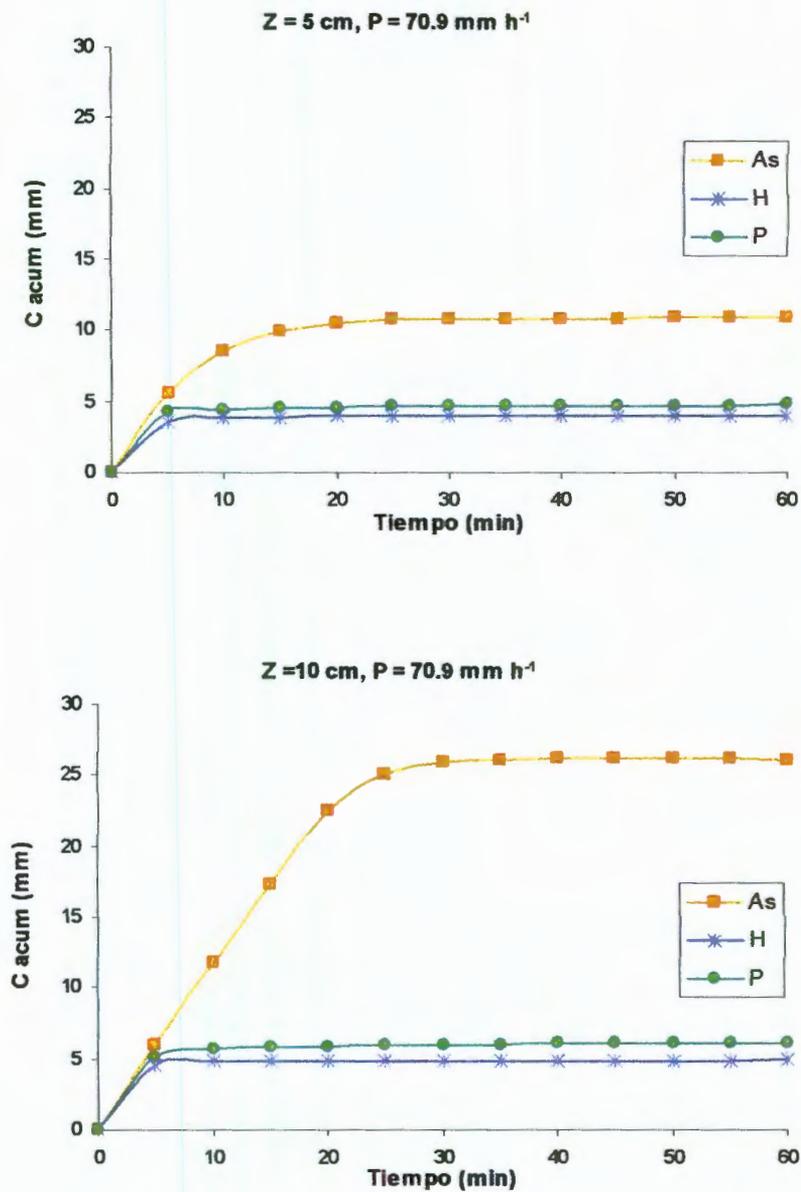


Figura 4.5 Capacidad de interceptación acumulada para una precipitación de 70.9 mm h<sup>-1</sup>, con espesores de lecho de Z=5 cm y Z=10 cm, para cada material: aserrín (As), hojas (H) y pasto (P).

#### 4.2.2 Comparación entre los valores de la capacidad máxima de interceptación obtenidos del calculo del balance de masa con los observados en las pruebas experimentales

Además de obtener la capacidad máxima de almacenamiento para la duración total de la tormenta, calculado del balance de masa ( $S$  calculado), se presentan los valores de  $S$  medidos en la experimentación. En general, los valores de  $S$  calculados fueron más grandes que los valores de  $S$  medidos (Fig. 4.6 y 4.7). La diferencia anterior puede deberse a las pérdidas que pudieran haberse presentado al pesar los materiales al final de la prueba experimental. La diferencia mayor entre estos valores fue para el caso de las hojas con una precipitación de  $70.9 \text{ mm h}^{-1}$  cuya diferencia representa el 66% cuando  $Z=5 \text{ cm}$  y del 64% cuando  $Z=10 \text{ cm}$ , con respecto al valor calculado.

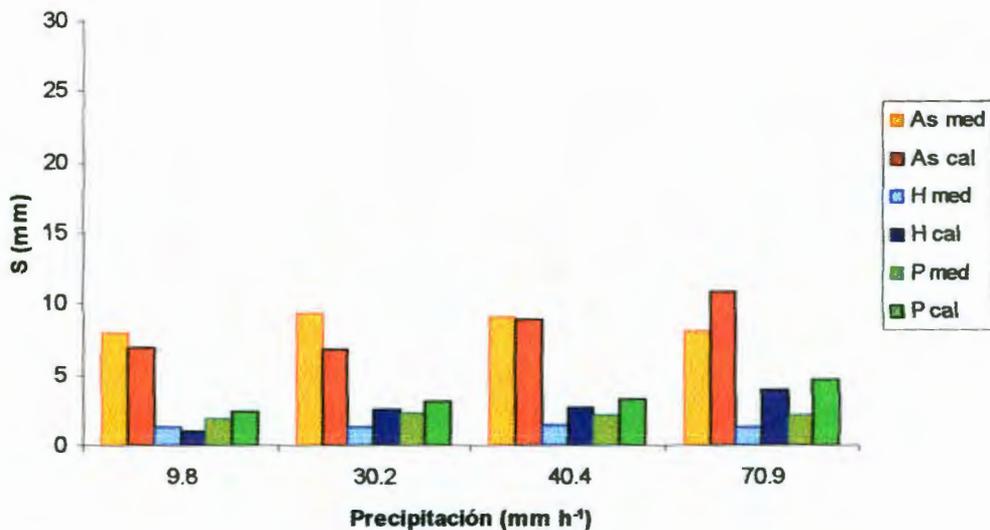
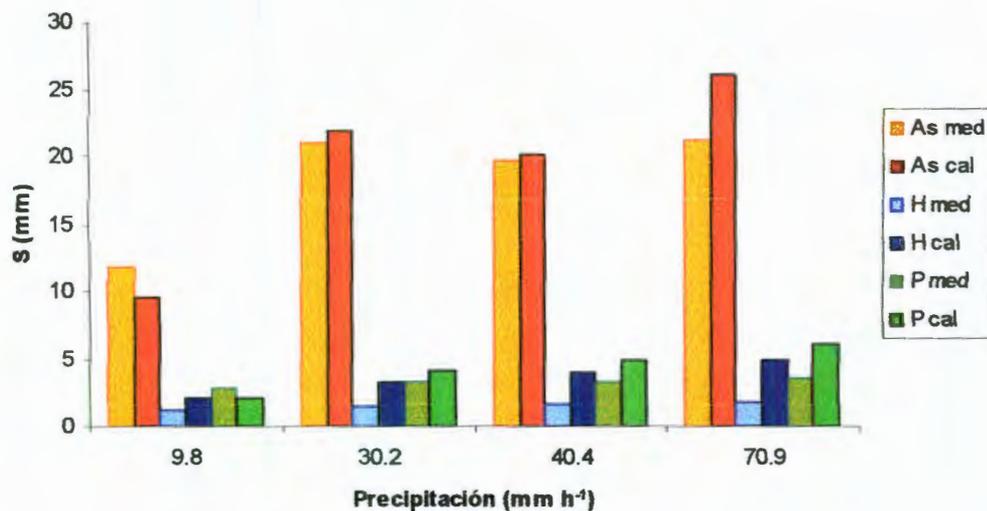


Figura 4.6 Comparación de los valores de la capacidad máxima de almacenamiento al término de la tormenta ( $S$ ), para cada material: aserrín (As), hojas (H) y pasto (P), entre el calculado del balance de masa (cal) y el medido en la experimentación (med), para un espesor  $Z=5 \text{ cm}$ .



**Figura 4.7** Comparación de los valores de la capacidad máxima de almacenamiento al término de la tormenta ( $S$ ), para cada material: aserrín (As), hojas (H) y pasto (P), entre el calculado del balance de masa (cal) y el medido en la experimentación (med), para un espesor  $Z=10$  cm.

### 4.3 Análisis de varianza

El análisis de varianza para los datos de la tabla 4.2 se realizó como un diseño factorial y fue modelado en el programa estadístico SAS. Una primera corrida en el programa demostró que el factor de precipitación no arrojaba diferencias significativas para las precipitaciones de  $30.2 \text{ mm h}^{-1}$ ,  $40.4 \text{ mm h}^{-1}$  y  $70.9 \text{ mm h}^{-1}$  y sólo la lluvia de  $9.8 \text{ mm h}^{-1}$  mostró diferencia, esto debido a que la precipitación más pequeña no permitió que el lecho alcanzara la capacidad máxima de interceptación en 1 h de simulación y, por lo tanto, bajo esta última precipitación el lecho no obtuvo las mismas condiciones que para las demás intensidades. Debido a lo anterior, se decidió eliminar los datos correspondientes a la precipitación de  $9.8 \text{ mm h}^{-1}$  y correr nuevamente el programa con una confiabilidad del 95%, la matriz de análisis quedó como sigue: para tres tratamientos: aserrín (as), hojas de álamo (h) y pasto silvestre (p); dos espesores: 5 cm y 10 cm y para tres intensidades de precipitación:  $30.2 \text{ mm h}^{-1}$ ,  $40.4 \text{ mm h}^{-1}$  y

70.9 mm h<sup>-1</sup>; con tres repeticiones en cada prueba, dando un total de 54 observaciones posibles (Tabla 4.3).

**Tabla 4.3 Matriz del análisis de varianza**

Clase	Nivel	Valor
Tratamiento	3	As, h, p
Espesor (cm)	2	10, 5
Precipitación (mm h <sup>-1</sup> )	3	30.2, 40.4, 70.9

Para todas las combinaciones con un total de 54 niveles se obtuvo una desviación estándar de 7.18, un rango de valores mínimo y máximo entre 1.90 y 27.60 y se obtuvo un coeficiente de variación muy alto de 90.06. Lo anterior puede deberse a que los materiales que conforman cada lecho son diferentes en su composición de geometría y densidad y por lo tanto sus capacidades de intercepción difieren mucho.

El análisis de varianza para el tratamiento con tres niveles mostró que estadísticamente el pasto y las hojas no tienen diferencias significativas en la capacidad máxima de intercepción, en cambio la capacidad máxima de intercepción para el aserrín es diferente a los otros dos tratamientos.

Para el espesor de lecho, la comparación de medias mostró diferencias significativas; por lo que el espesor es un factor determinante en las diferencias de los valores de la capacidad de intercepción.

En cuanto a los niveles de precipitación, no existe diferencia significativa para cada intensidad y con base a este análisis se puede concluir que la intensidad de lluvia no afecta el valor de la capacidad máxima de intercepción.

La corrida del análisis de varianza, utilizando el programa de cómputo SAS, se puede ver en el apéndice (Anexo 6, pág. 129).

#### 4.4 Evolución de la capacidad de interceptación $C$

El primer valor que se midió para obtener la capacidad de interceptación fue a los cinco minutos de haber comenzado la tormenta como se aprecia en la figura 4.8. La evolución de la capacidad de interceptación con respecto al tiempo comienza con valores grandes de interceptación ya que el lecho está interceptando agua hasta que este alcanza su capacidad máxima de interceptación  $C_{\max}$  y justo en ese instante es cuando se presenta el drenaje y entonces  $C_{\max} = S$ ; después de ese instante decrece hasta que el lecho deja de retener agua y entonces deja pasar toda el agua que entra en él, por lo que toda el agua que entra es drenada. Este comportamiento se muestra en la Fig. 4.8 para cada material e intensidades de 9.8 mm h<sup>-1</sup> y 70. mm h<sup>-1</sup>. Las hojas y el pasto alcanzan la capacidad máxima ( $C_{\max}$ ) dentro de los 10 primeros minutos de tormenta para cualquiera de estas intensidades de precipitación y cualquier espesor de lecho ( $Z$ ). El aserrín es el material que tardó más tiempo interceptando agua y sólo en la precipitación de 9.8 mm h<sup>-1</sup>, para un lecho con espesor de 10 cm, este material no alcanzó su  $C_{\max}$  por lo que no se presentó drenaje en una hora de simulación. En las precipitaciones de 30.2 mm h<sup>-1</sup> y 40.4 mm h<sup>-1</sup> las curvas siguieron un comportamiento muy parecido a las descritas anteriormente (ver apéndice: Anexo 7, pág. 140).

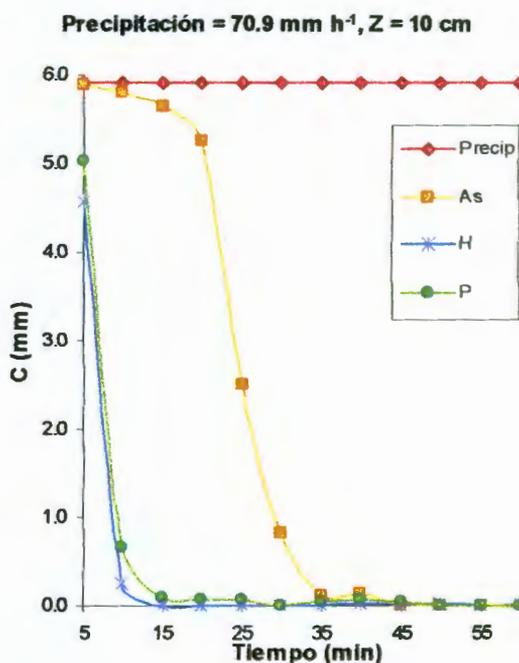
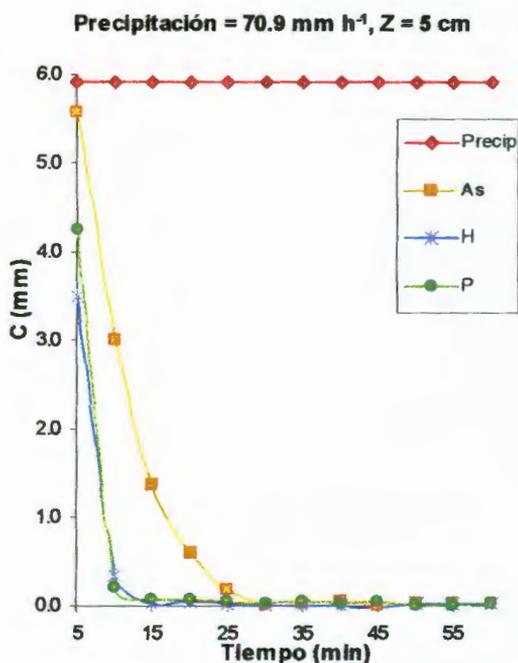
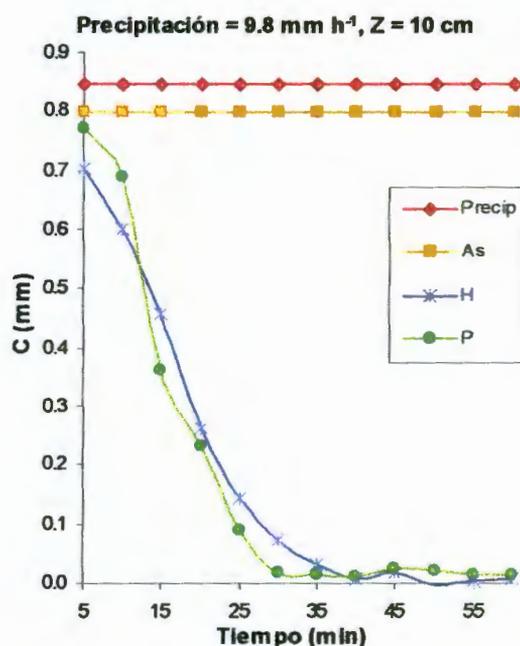
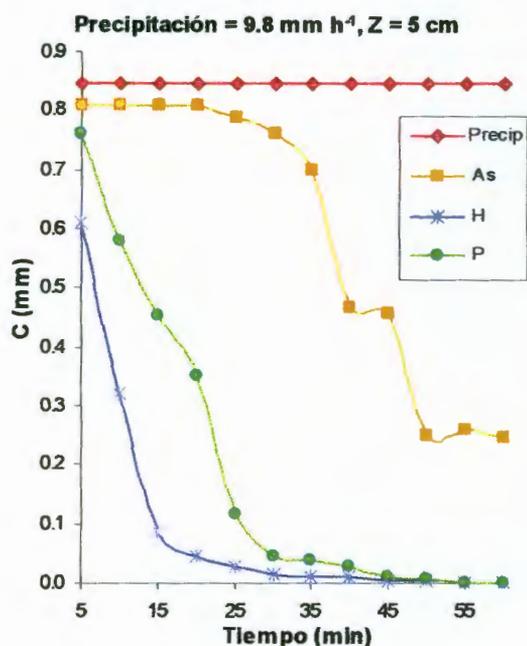


Figura 4.8 Comportamiento de la capacidad de interceptación de lluvia (C) cada 5 min durante 1 hora de simulación, para precipitaciones (Precip) de 9.8 mm h<sup>-1</sup> y 70.9 mm h<sup>-1</sup>, con dos variaciones de espesor de lecho (Z=5 cm y Z=10 cm) y para cada material: aserrín (As), hojas (H) y pasto (P).

#### 4.5 Evolución del drenaje $D$

El drenaje es la componente del balance de masa más importante que interviene en el vaciado del agua en el lecho, durante la tormenta y para las condiciones climatológicas en el laboratorio, por lo que su comportamiento es inverso al del llenado del reservorio, es decir, a la evolución de  $C$ . El drenaje se presenta en un cierto intervalo de tiempo después del inicio de la tormenta, el valor de  $D$  comienza a crecer hasta que alcanza un valor muy parecido a la precipitación por lo que al drenar la misma cantidad de agua que entra al sistema, se puede decir que el lecho ya no retiene agua. En la figura 4.9 se puede apreciar que para la intensidad más pequeña ( $9.8 \text{ mm h}^{-1}$ ) en el aserrín, no se llegaron a igualar los volúmenes de entrada (de precipitación) con los de salida (de drenaje); lo que quiere decir que el lecho seguía almacenando agua, y especialmente cuando el espesor de lecho fue de 10 cm, no hubo drenaje y por consecuencia toda el agua que entró al sistema fue almacenada por el aserrín. En cambio, para la intensidad de  $70.9 \text{ mm h}^{-1}$ , el drenaje alcanzó el valor de la precipitación en todos los materiales, por lo que en este caso los lechos sí alcanzaron su almacenamiento máximo. Las curvas de la evolución del drenaje con precipitaciones de  $30.2$  y  $40.4 \text{ mm h}^{-1}$  son mostradas en el apéndice (Anexo 8, pág. 142).

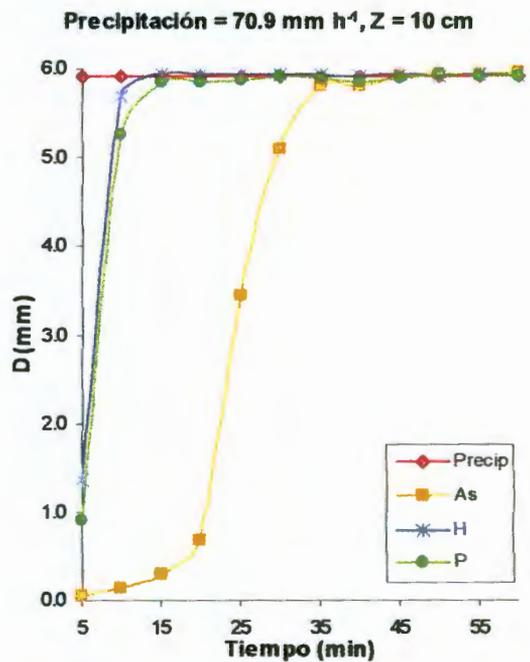
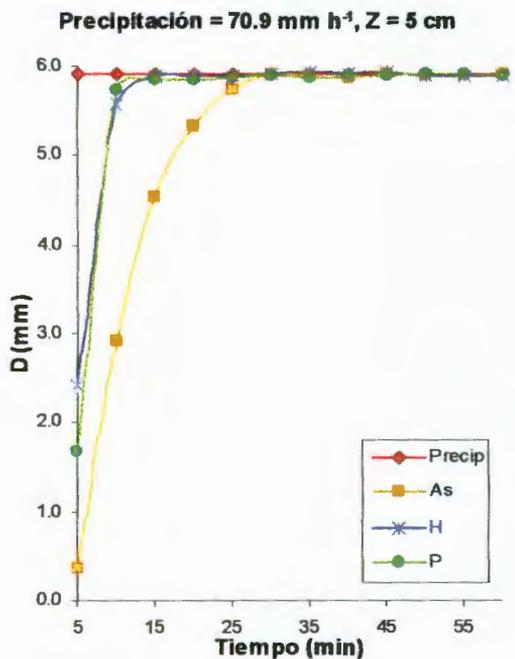
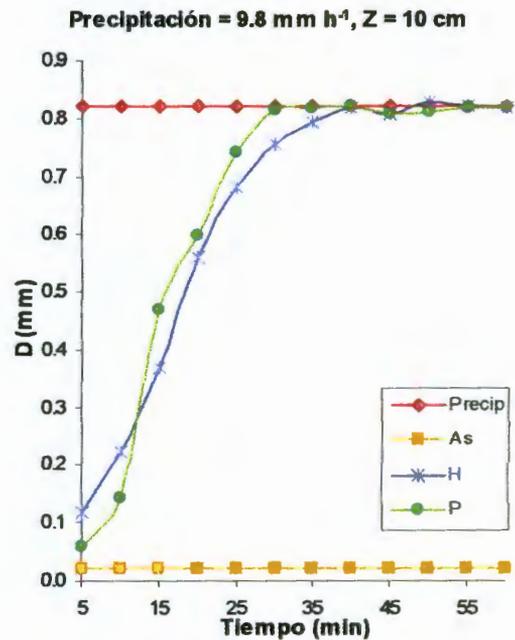
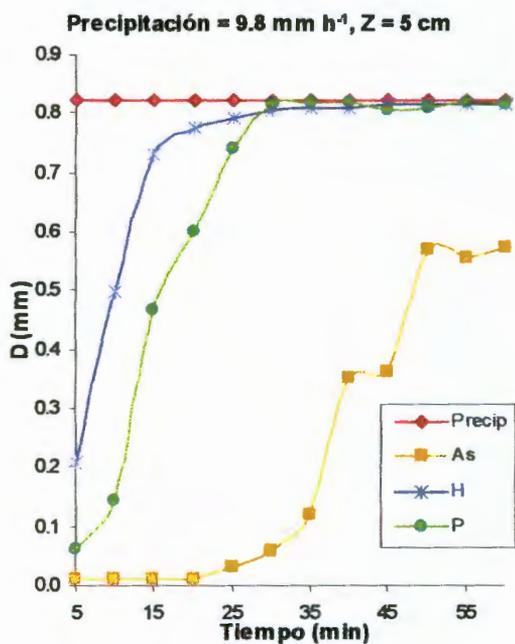
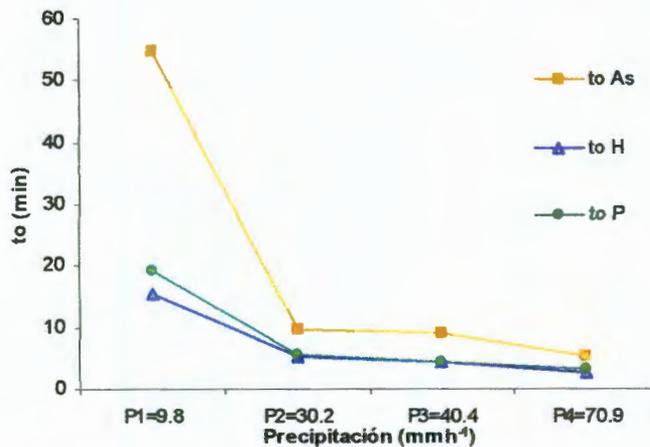
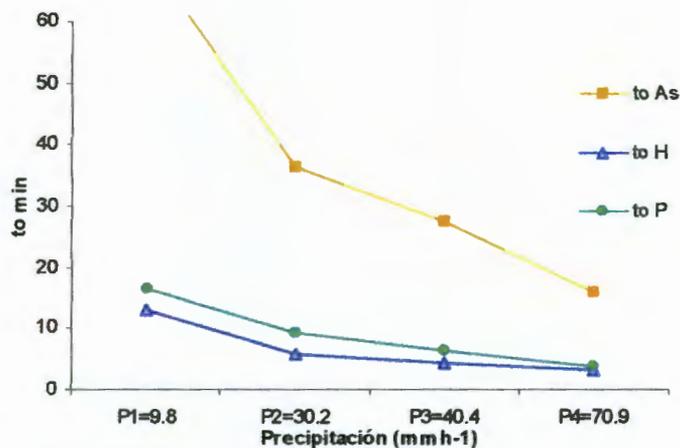


Figura 4.9 Comportamiento del drenaje (D) cada 5 min para 1 hora de simulación, para precipitaciones (Precip) de 9.8 mm h<sup>-1</sup> y 70.9 mm h<sup>-1</sup>, con dos variaciones de espesor de lecho (Z=5 cm y Z=10 cm) y para cada material: aserrín (As), hojas (H) y pasto (P).

El tiempo en el que el lecho comienza a drenar se le ha llamado: "tiempo inicial de drenado,  $t_0$ ". Estos valores fueron obtenidos de las observaciones experimentales y son importantes ya que justo en este tiempo es cuando el lecho alcanza su capacidad máxima ( $C_{max}$ ). El inicio del drenaje varió de acuerdo a cada material, espesor de lecho e intensidad de lluvia. El lecho que drenó más rápido fue el de hojas aunque estuvo muy parejo con el tiempo inicial del pasto; mientras que el aserrín tardó más en drenar y en particular, para este último material, para un espesor de lecho de 10 cm y bajo una precipitación de  $9.8 \text{ mm h}^{-1}$  no se presentó drenaje, por lo que el inicio de éste tendrá que ser un tiempo mayor a 60 min bajo dichas condiciones (Fig. 4.10 y 4.11).



**Figura 4.10** Tiempo inicial de drenado ( $t_0$ ) para un espesor de lecho  $Z=5 \text{ cm}$ , en cada lecho: aserrín (As), hojas de álamo (H) y pasto (P).



**Figura 4.11** Tiempo inicial de drenado ( $t_o$ ) para un espesor de lecho  $Z=10$  cm, en cada lecho: aserrín (As), hojas de álamo (H) y pasto (P).

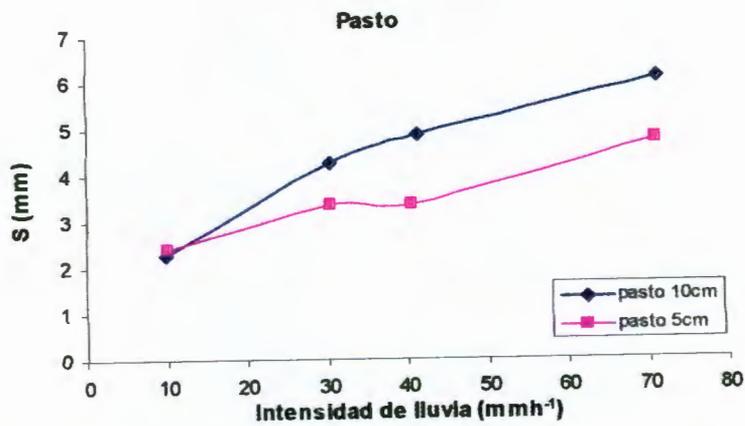
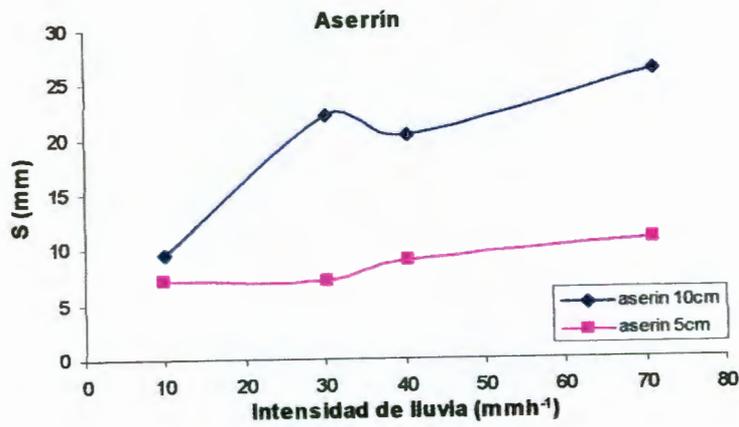
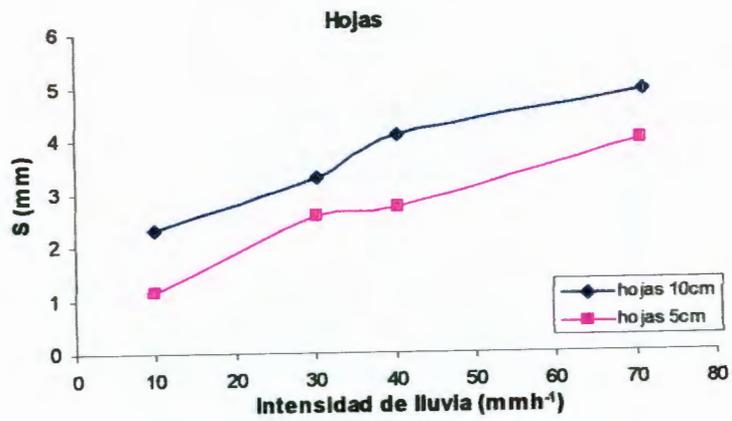
#### 4.6 Análisis de la intervención de la intensidad de lluvia en la capacidad máxima de intercepción

Sin duda ha podido notarse que el espesor del lecho es un factor importante que interviene en los resultados obtenidos de la capacidad de intercepción. En cambio, si se analiza que tanto interviene la intensidad de la precipitación en los valores de la capacidad de intercepción se han encontrado discrepancias. Ya que por un lado, el análisis de varianza demuestra que la intensidad de precipitación no es un factor que muestre diferencias significativas en el valor de la intercepción, por otro, los resultados experimentales manifiestan diferencias en el valor de la intercepción dependiendo de la intensidad de la precipitación y estas diferencias pueden ser, en algunos casos, significativas.

Se puede citar, que la diferencia de los valores de intercepción más notoria fue entre la intensidad más pequeña ( $9.8 \text{ mm h}^{-1}$ ) y la más grande ( $70.9 \text{ mm h}^{-1}$ ). La diferencia anterior se puede apreciar en la Fig. 4.4 y 4.5, en donde, por ejemplo

para un espesor de lecho de 5 cm, se puede ver que para la intensidad de 9.8 mm h<sup>-1</sup> el valor de la capacidad máxima de intercepción para las hojas y el pasto estuvo entre 1 y 2 mm, mientras que para una intensidad de 70.9 mm h<sup>-1</sup> el valor de la capacidad máxima de intercepción aumentó a un rango de valores entre 4 y 5 mm, esto representa un incremento del doble y, por lo tanto, podría ser significativo. Aunque si se retoma el concepto de que el lecho es un reservorio capaz de almacenar agua de lluvia (ver sección 2.2.1) entonces, bajo cualquier intensidad de la precipitación, el reservorio se llenará hasta su capacidad máxima dándole el tiempo suficiente de la tormenta. De acuerdo a lo anterior, entonces el valor de la capacidad máxima no tendría que variar con la intensidad de lluvia, sin embargo, no hay que olvidar que el material que compone el lecho (reservorio) es un material poroso y que las diferencias que se pudieron suscitar en el valor de la capacidad máxima las pruebas experimentales puede deberse al acomodo de las partículas o al movimiento de los elementos que componen el lecho debido a la energía cinética del impacto de las gotas de lluvia, de tal forma que se pudieran formar canales por donde el agua pudiera circular con mayor facilidad y tal vez, esto ocasionaría que no se estuviera almacenando el agua al máximo en el lecho.

En la Fig. 4.12 se muestran los resultados de la comparación de los valores de la capacidad máxima de intercepción ( $S$ ) con la intensidad de lluvia aplicada. En general, en todas las gráficas se puede apreciar que conforme aumentó la intensidad de la precipitación, aumentó, también, la capacidad máxima de intercepción. Sólo en el caso del aserrín para un espesor de lecho de 5 cm la diferencia de valores de la capacidad máxima no fue tan notoria conforme aumentó la intensidad de precipitación; sin embargo, no fue así para un espesor de 10 cm, aunque aquí hay que recordar que para este espesor, el aserrín no alcanzó la capacidad máxima con la precipitación más pequeña, por lo que, este punto no podría ser comparado y, si es así, entonces la diferencia de valores de la capacidad máxima de intercepción (entre el resto de las intensidades) no es tan grande en comparación con la del pasto y las hojas.



**Figura 4.12** Capacidad máxima de intercepción de acuerdo a la intensidad de lluvia aplicada en cada lecho.

#### 4.7 Coeficientes de drenaje ( $k$ ) y percolación ( $b$ )

Para la fase III, denominada: "fase de secado" del comportamiento físico de la intercepción de un lecho descrito en la sección 2.3, el lecho es vaciado por el drenaje y la evaporación una vez que la lluvia termina. El drenaje de los lechos de residuos vegetales, obtenido de las pruebas experimentales descritas en la sección 3.3.4, se presenta en las gráficas de la figura 4.13. El comportamiento del drenaje para esta fase de secado decrece en forma exponencial; se puede notar que el lecho fue vaciado, debido al drenaje, en un periodo de tiempo corto en comparación al tiempo en que llevaría en vaciarse por la evaporación, sobre todo bajo las condiciones de clima de laboratorio donde no estuvo expuesto a radiaciones directas del sol. El valor del drenaje decrece rápidamente en los primeros 5 min después de que terminó la tormenta, y en los siguientes minutos, el drenaje cesa hasta que deja de presentarse.

Con los valores de drenaje de las gráficas de la Fig. 4.13 se pudo obtener el comportamiento de la capacidad de intercepción  $C$  y de acuerdo a la ecuación (4), el valor de  $C$  es relacionado linealmente con el valor de  $\ln D$  por lo que se pudo determinar los valores de los coeficientes de drenaje y percolación ( $k$  y  $b$ ) para cada material. En la Fig. 4.14 se muestra el resultado de una de las pruebas para cada material, en el caso de las hojas y el pasto se aprecia que existe la correlación lineal entre los puntos de la capacidad de intercepción y el logaritmo natural del drenaje; pero para el aserrín, la correlación de los puntos parece que forman una tendencia curva, sin embargo se hizo una correlación lineal para uniformizar el criterio de cálculo, ya que para obtener los valores de  $k$  y  $b$  en los demás tratamientos se siguió una correlación lineal. El resto de las gráficas donde se presenta la obtención de los valores de  $k$  y  $b$  se pueden ver en el apéndice (Anexo 9, pág. 144).

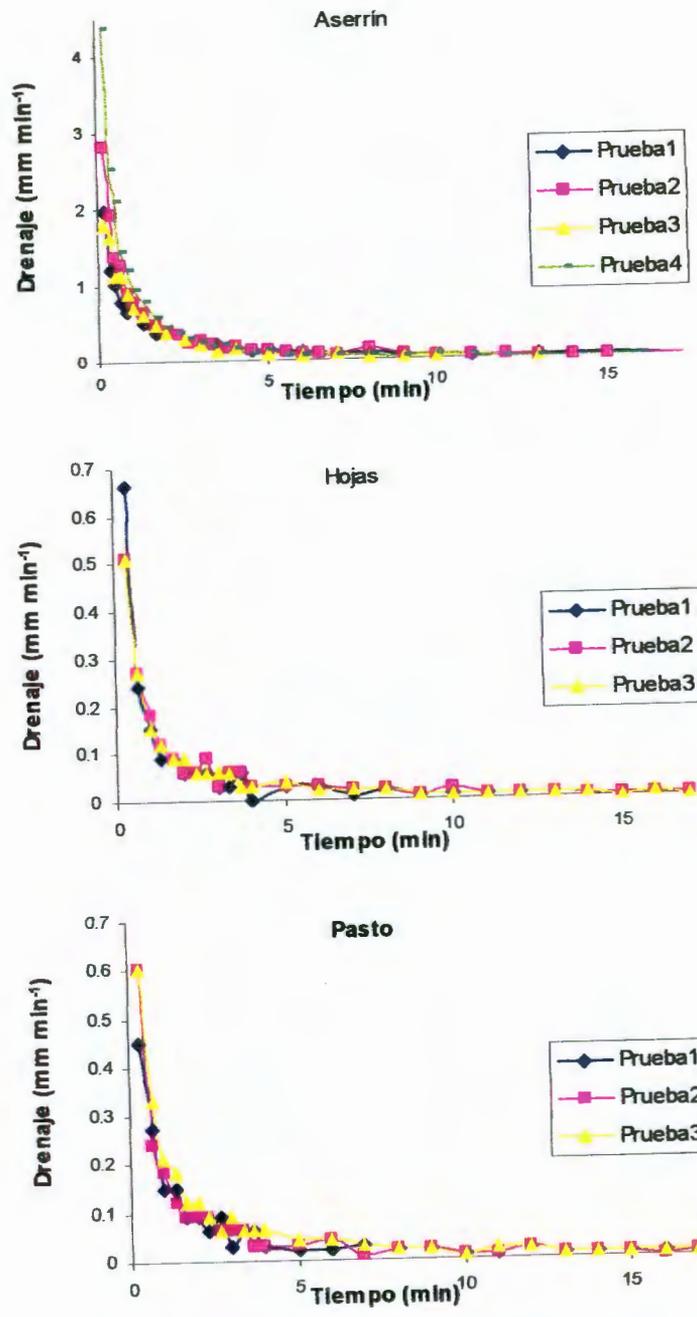
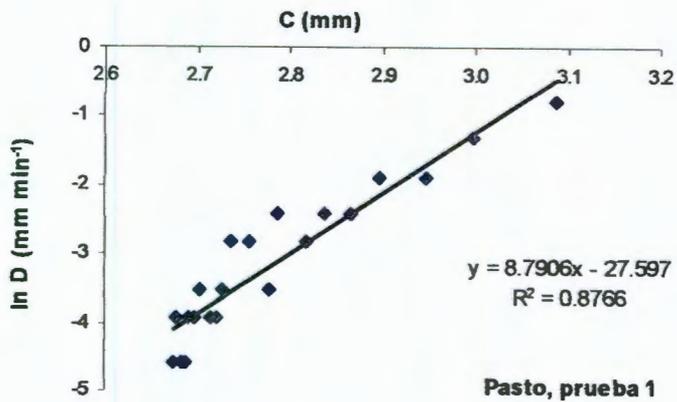
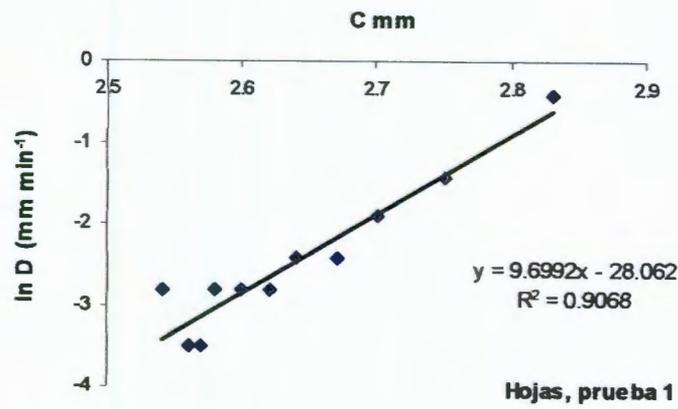
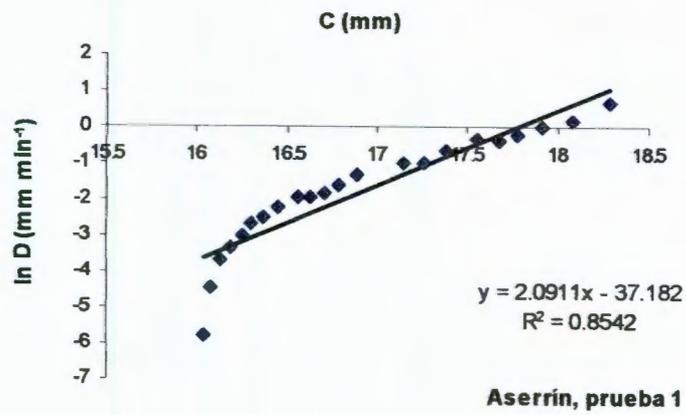


Figura 4.13 Drenaje medido para cada lecho en la fase III denominada: "fase de secado".



**Figura 4.14** Relación lineal entre el logaritmo natural del drenaje ( $\ln D$ ) y el valor de la capacidad de intercepción ( $C$ ).

Los valores promedio de los coeficientes  $k$  y  $b$  para cada material se muestran en la tabla 4.6; los coeficientes que resultaron con los valores más altos fue para las hojas, lo cual indica que es el material que drena más rápido; los coeficientes para el pasto son ligeramente menor a las hojas y por último, el que tiene el valor más pequeño es el aserrín, que sería el material que tarda más tiempo en drenar. Estos valores de  $k$  y  $b$  son los que utiliza el programa para calcular el drenaje (descrito en el subcapítulo 3.3.6 y anexo en el apéndice del trabajo de tesis).

**Tabla 4.4 Valores promedio de los coeficientes de drenaje  $k$  y percolación  $b$**

Material	Valor promedio del coeficiente $k$ mms <sup>-1</sup>	Valor promedio del coeficiente $b$ mm <sup>-1</sup>
Aserrín	$4.27 \times 10^{-17}$	2.15
Hojas	$1.25 \times 10^{-14}$	9.92
Pasto	$5.12 \times 10^{-14}$	8.83

Los valores de los coeficientes de drenaje y percolación obtenidos en esta investigación se han podido comparar con otros valores que han obtenido otros autores para vegetaciones diferentes a las utilizadas en el presente trabajo: Rutter et al. (1971) obtuvieron valores de  $k$  y  $b$  para un bosque de pino Corsican en el sureste de Inglaterra, Aboal Jesús R. Et al. (1999) determinaron estos coeficientes para un bosque de laureles en las Islas Canarias, Bussiere et al. (1994) es el autor que más se acerca a un estudio de lechos de residuos vegetales, determinó los coeficientes  $k$  y  $b$  para un lecho de residuos de caña de azúcar. En la tabla 4.7 se pueden ver los valores que determinó cada autor y haciendo la comparación con los de la tabla 4.6, se puede notar que los coeficientes de drenaje,  $k$ , para los lechos estudiados en esta investigación son más pequeños, en todos los casos, que los valores que determinaron los otros autores; mientras que para el coeficiente  $b$ , en el caso del aserrín resultó ser muy parecido al de los residuos de

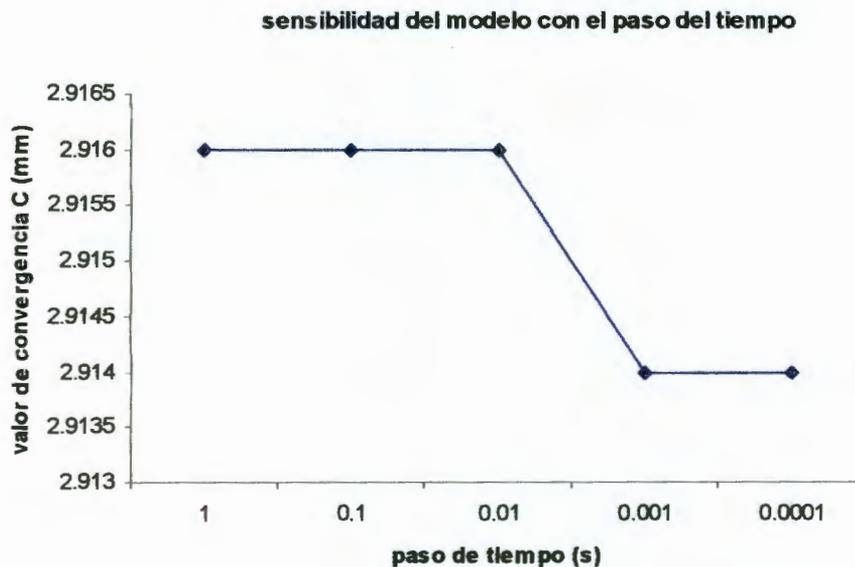
caña de azúcar, para las hojas y el pasto, el valor de  $b$  fue mayor que el del bosque y que el de los residuos de caña de azúcar.

**Tabla 4.5 Valores de los coeficientes de drenaje  $k$  y percolación  $b$  obtenidos por otros autores para tres vegetaciones diferentes.**

<b>Autor</b>	<b>Material</b>	<b>Coefficiente <math>k</math> <math>\text{mms}^{-1}</math></b>	<b>Coefficiente <math>b</math> <math>\text{mm}^{-1}</math></b>
Rutter et al.	Bosque de pino Corsican	$3.16 \times 10^{-5}$	3.7
Aboal Jesús et al.	Bosque de Laurel	$1.3 \times 10^{-6}$	1.6
Bussiere et al.	Residuos de caña de azúcar	$4 \times 10^{-3}$	2.3

#### 4.8 Sensibilidad del modelo con el paso del tiempo

Se utilizaron varios pasos de tiempo para la ejecución del programa y se pudo observar que con un paso de tiempo mayor de 1 s los resultados presentaban oscilaciones alrededor del valor de la capacidad máxima de intercepción, por lo que se propusieron valores de paso de tiempo menores de 1 s y se escogió un valor de paso de tiempo de 0.001 ya que con este valor la convergencia con el valor de la capacidad de intercepción  $C$  es muy satisfactoria (Fig. 4.15).



**Figura 4.15** Análisis de sensibilidad del modelo debido al paso del tiempo.

#### 4.9 Análisis del modelo: eficiencia, sesgo y error cuadrático medio

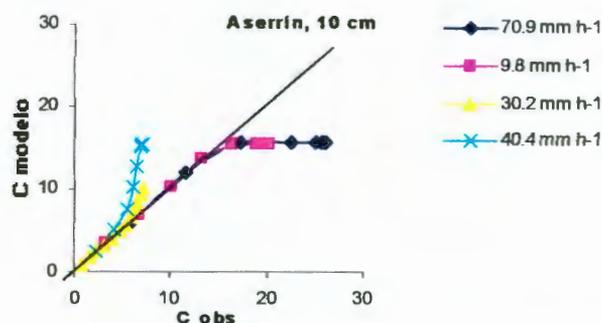
Se realizó la comparación entre la capacidad de intercepción resultado de la experimentación con los valores de la capacidad de intercepción que se obtuvieron en el modelo. Al igual que se hizo para el drenaje. El análisis se hizo para cada evento de la matriz de la tabla 3.4 y para cada evento se tenía un total de 12 puntos, debido a que se realizaron mediciones cada 5 min durante 1 h de simulación con lluvia.

Para la capacidad de intercepción el tratamiento que se obtuvo con mejores resultados fue para el aserrín, con un espesor de lecho de 10 cm y bajo una precipitación de  $9.8 \text{ mm h}^{-1}$ , su eficiencia fue de 1.0 el sesgo de 0.3 y el error cuadrático medio de 0.4. Mientras que en este mismo tratamiento pero en la estimación del drenaje la eficiencia no fue tan buena, resultando esta de  $-0.3$ , y el sesgo fue de  $-0.1$  y el error cuadrático medio fue de 0.2 y gráficamente se puede ver que la curva correspondiente a este tratamiento se asemeja mucho a un recta de  $45^\circ$  sobre la cual el comportamiento es ideal. Aunque para la intensidad de  $9.8 \text{ mm h}^{-1}$  el comportamiento sea bueno para otras intensidades las curvas se desvían del comportamiento ideal (Fig. 4.16).

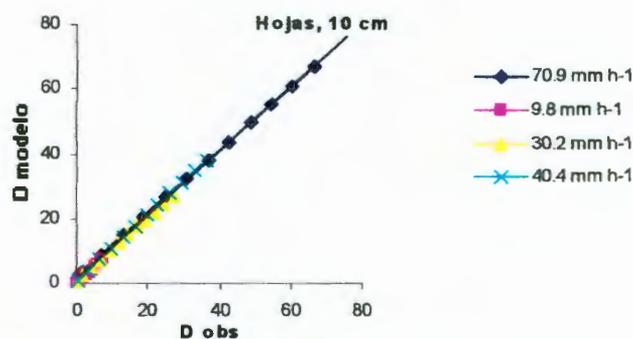
En el caso del estudio del drenaje, el tratamiento que tuvo mayor eficiencia fue para las hojas de álamo, con un espesor de lecho de 10 cm y bajo una precipitación de  $30.2 \text{ mm h}^{-1}$ , cuyo valor fue de 1.0, mientras que el sesgo fue de 0.0 y el error cuadrático medio fue de 0.3. Para este lecho y bajo cualquier precipitación los resultados fueron satisfactorios, ya que las curvas se sobreponen al comportamiento ideal (Fig. 4.17).

Por el contrario, el tratamiento que tuvo mayor error fue para el pasto con 5 cm de espesor de lecho y con una intensidad de  $70.9 \text{ mm h}^{-1}$ , con un error de 35.8, eficiencia de  $-0.3$ , y sesgo de  $-31.0$  (Fig. 4.18).

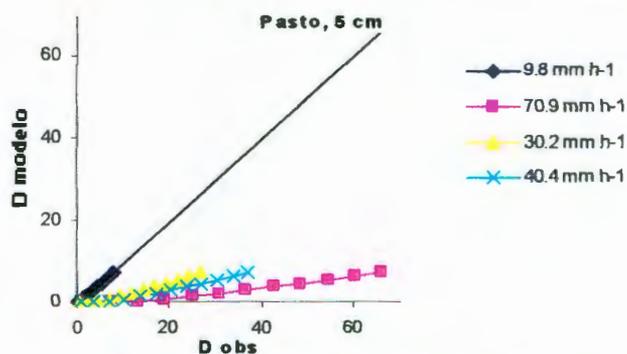
El resultado del análisis para todos los tratamientos puede verse en el apéndice (Anexo 10, pág. 147).



**Figura 4.16** Análisis de eficiencia en el lecho de aserrín con 10 cm de espesor entre la capacidad de interceptación del modelo (C modelo) y la capacidad de interceptación de los resultados experimentales (C obs).



**Figura 4.17** Análisis de eficiencia en el lecho de hojas con 10 cm de espesor entre el drenaje del modelo (D modelo) y el drenaje de los resultados experimentales (D obs).



**Fig. 4.18** Análisis de eficiencia en el lecho de pasto con 5 cm de espesor entre el drenaje del modelo (D modelo) y el drenaje de los resultados experimentales (D obs).

#### **4.10 Comparación entre las curvas de la capacidad de intercepción resultado de la experimentación con las obtenidas del modelo**

No en todos los casos se obtuvo convergencia para los valores de  $C$  entre los resultados experimentales y los resultados del modelo. Por ejemplo, para un lecho de hojas con un espesor de lecho de 5 cm y bajo una precipitación de  $40.4 \text{ mm h}^{-1}$  hubo mucha similitud entre los resultados experimentales con los resultados del modelo (Fig. 4.19). En el caso del pasto bajo las mismas condiciones, los resultados de  $C$  obtenidos de la experimentación fueron ligeramente más grandes que los obtenidos del modelo (Fig. 4.20). En cambio, donde se presentó mucha variación fue con el aserrín que, bajo las mismas condiciones de estudio, dio lugar a una diferencia de casi el 50% entre  $C$  del experimento y  $C$  modelado, esto es que la  $C$  modelado superó a la experimental con casi el doble (Fig. 4.21). El comportamiento de la curva obtenida de la experimentación tiene una evolución suave a lo largo de sus tres fases: llenado, saturación y secado, a diferencia de la curva obtenida del modelo, ya que esta última presenta quiebres muy notorios en el cambio de cada fase; esto es porque la fase de llenado y saturación sigue un comportamiento lineal, mientras que el drenado se da en forma exponencial. En el apéndice se pueden ver todas las gráficas comparativas de la capacidad de intercepción obtenida en la experimentación, con las obtenidas de la modelación (Anexo 11, pág. 152).

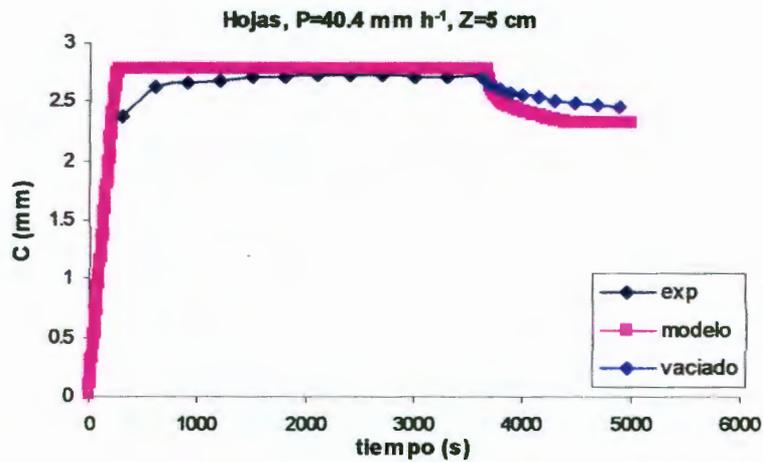


Figura 4.19 Comparación de la capacidad de interceptación ( $C$ ) de las hojas de álamo, obtenida de la experimentación en las tres fases: llenado, saturación (exp) y vaciado, con la obtenida de la modelación (modelo).

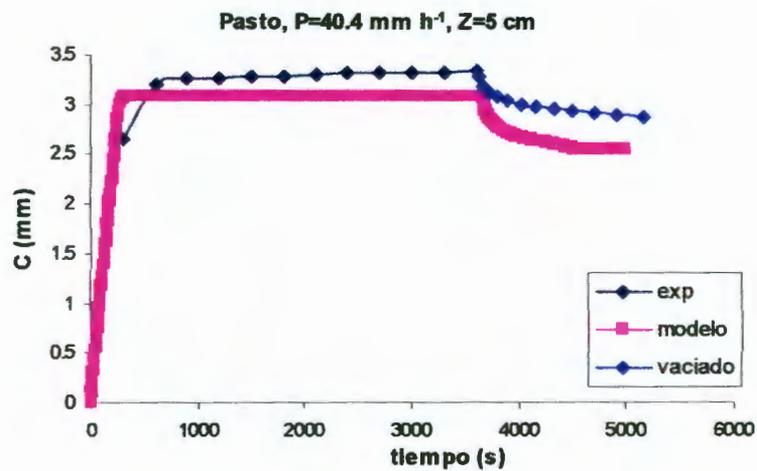
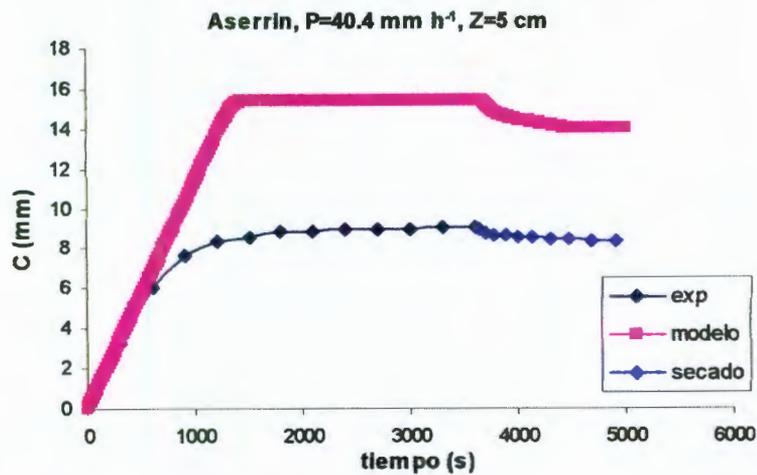


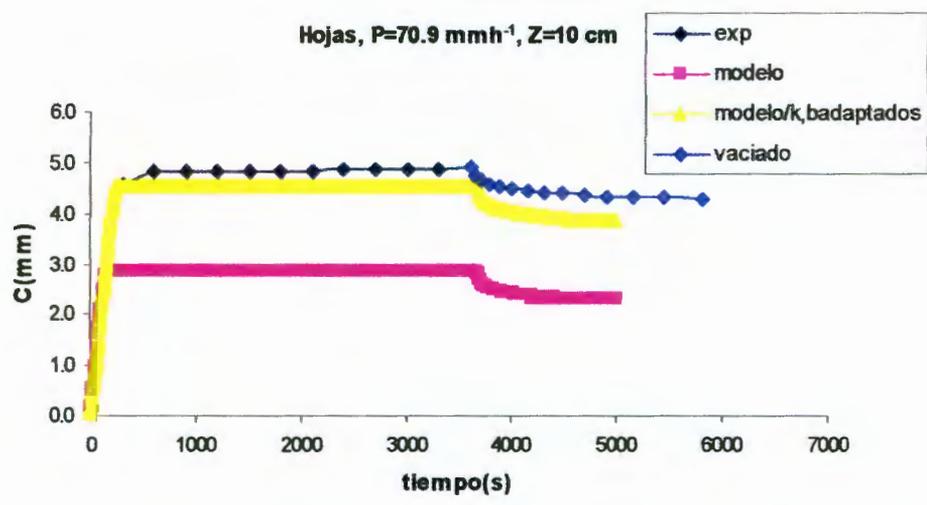
Figura 4.20 Comparación de la capacidad de interceptación ( $C$ ) del pasto, obtenida de la experimentación en las tres fases: llenado, saturación (exp) y vaciado, con la obtenida de la modelación (modelo).



**Figura 4.21 Comparación de la capacidad de intercepción (C) del aserrín, obtenida de la experimentación en las tres fases: llenado, saturación (exp) y vaciado (secado), con la obtenida de la modelación (modelo).**

La diferencia entre la curva estimada y la curva observada se debe principalmente a los valores de los coeficientes de drenaje ( $k$ ) y percolación ( $b$ ). Los valores obtenidos de  $k$  y  $b$  se tomaron representativos para cada material sin importar la intensidad de la precipitación; sin embargo, se puede ver que hay mucha diferencia en los resultados para unas intensidades con respecto a otras. Por lo anterior se buscó los valores de los coeficientes que reprodujeran en forma satisfactoria la capacidad de intercepción estimada con la curva obtenida experimentalmente. Así por ejemplo, para un lecho de hojas de 10 cm de espesor y bajo una precipitación de 70.9 mm h<sup>-1</sup> se puede notar que adaptando los coeficientes de  $k$  y  $b$  el modelo mejora notablemente cambiando los valores de los coeficientes como sigue:  $k$  de  $1.25 \times 10^{-14}$  mm s<sup>-1</sup> ahora con un valor adaptado de  $5.3 \times 10^{-17}$  mm s<sup>-1</sup> y  $b$  de 9.92 mm<sup>-1</sup> ahora con un valor adaptado de 7.33 mm<sup>-1</sup>. por lo que se puede decir que los coeficientes de drenaje y percolación varían dependiendo de la intensidad de la precipitación o que existe sólo un rango de valores de intensidad donde pueden dar resultados aceptables (Fig. 4.22); así por ejemplo, si se utilizaran los valores de  $k$  y  $b$  presentados en la tabla 4.6

correspondiente al lecho de hojas, entonces la intensidad de precipitación que habría que aplicar en el modelo tendría que ser con un valor de  $5 \times 10^{10} \text{ mm h}^{-1}$ .



**Figura 4.22** Comparación de la capacidad de interceptación (C), para un lecho de hojas de álamo con 10 cm de espesor, entre los valores observados (exp) y los estimados con el programa utilizando el promedio de *k* y *b* (modelo) y utilizando *k* y *b* adaptados dependiendo de la intensidad de la precipitación (modelo/k,badaptados).

## 5.- CONCLUSIONES

Las diferencias de la intercepción de la precipitación entre cada material se deben principalmente a las propiedades de densidad y porosidad de cada uno, ya que en este trabajo, el material que más interceptó agua fue el aserrín y es el material menos poroso y con mayor densidad de los tres utilizados, le sigue el pasto y por último las hojas de álamo.

Las diferencias de los valores de intercepción que se pudieron suscitar entre los eventos experimentales para el mismo material, pueden atribuirse al acomodo de sus elementos en el área de estudio.

De acuerdo con los resultados obtenidos para la capacidad máxima de almacenamiento, el aserrín podría utilizarse para captar agua en cualquier área de suelo que sea necesario, como puede ser en jardines o zonas agrícolas.

En este estudio la vegetación fue considerada como un reservorio capaz de almacenar agua y en ese sentido la capacidad de intercepción para un material (con una determinada densidad) que sea utilizado como lecho, la capacidad máxima de almacenamiento sería la misma bajo cualquier precipitación simulada, sólo variaría el tiempo en que llegara a saturarse, dependiendo de la intensidad de la precipitación; y, esto se corroboró en el análisis de varianza, en donde los resultados demostraron que no había diferencias significativas en los valores de la capacidad máxima de intercepción con el factor intensidad de precipitación. Sin embargo, en el análisis de la intervención de la intensidad de la precipitación los resultados demuestran que este factor si influye en la capacidad máxima de intercepción y se puede deber al reacomodo que se pueda suscitar entre las partículas que componen el lecho debido a la energía cinética del impacto de las gotas de lluvia.

Es conveniente hacer notar que en el presente trabajo se consideró el valor de la evaporación como nulo, debido a que las pruebas experimentales se desarrollaron en laboratorio donde no se presentaban importantes radiaciones debidas al sol. Sin embargo, la evaporación es una componente importante que no debe ser despreciada para un balance hídrico completo.

La metodología y desarrollo experimental para la obtención de los valores de los coeficientes de percolación y drenaje sirven de base para poder estudiar estos parámetros en otros materiales que funcionen como lechos o cubiertas vegetales.

Se obtuvieron valores promedio de los coeficientes de drenaje ( $k$ ) y percolación ( $b$ ) para cada material empleado como lecho y utilizando estos valores en el programa de cómputo para obtener las curvas de drenaje y capacidad de intercepción, se encontraron, en algunos casos, diferencias significativas al momento de compararlas con las curvas obtenidas de la experimentación ya que los valores promedios de  $k$  y  $b$  obtenidos para cada material representan bien la evolución de la capacidad de intercepción sólo para algunas intensidades de lluvia y no para todas. Sin embargo, si se utiliza un valor de  $k$  y  $b$  para cada lecho y para cada precipitación, la convergencia entre curvas del modelo y experimentales presenta mejores resultados. Por lo que se puede decir que pudiera existir un factor de peso, que no ha sido estudiado, debido a la intensidad de la precipitación que modifique los valores de  $k$  y  $b$ .

Para el coeficiente de drenaje se presentó mucha dispersión en el caso del lecho de aserrín ya que las pruebas arrojaron valores entre  $8.4 \times 10^{-11}$  y  $1.3 \times 10^{-22}$ , por lo que tal vez esto influya en el comportamiento de la capacidad que resulta del modelo.

Se pudo hacer la comparación de los valores de los coeficientes de la ecuación del drenaje con los que han obtenido otros autores y se puede notar que existe mucha diferencia dependiendo del tipo de vegetación en estudio. De ahí la importancia de conocer estos parámetros, ya que en muchos estudios no han sido obtenidos y si se necesita estudiar el drenaje en algún material con características similares a los materiales que ya han sido estudiado, entonces se pueden adoptar estos valores como referencia.

En general, se puede decir que el material que arrojó mayores diferencias entre los resultados de cada lecho fue el aserrín y puede deberse a su composición geométrica (muy diferente a los otros lechos), de porosidad (menos poroso que los otros lechos) y también a la capacidad de absorción que pueden tener sus elementos durante una tormenta.

De acuerdo a los resultados obtenidos se puede decir que los lechos vegetales, ya sea en forma natural o artificial, juegan un papel importante en el balance de masa ya que tienen la capacidad de almacenar agua y dependiendo de las características, principalmente, de forma y porosidad de cada lecho será la evolución de la capacidad de intercepción en el tiempo, por lo que es un elemento que se debe considerar en el balance de masa para obtener resultados más reales.

Este trabajo sirve como punto de partida para hacer un estudio más completo en campo, con precipitaciones reales y todos los elementos que componen el balance de masa aplicado al estudio del fenómeno lluvia-escorrentía.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aboal Jesús R., Jiménez M. Soledad, Morales Domingo, Hernández José M.; 1999. Rainfall interception in laurel forest in the Canary Islands, *Agricultural and Forest Meteorology* 97 pp. 73-86.

Bautista Guerrero Omar., Ventura Ramos Eusebio Jr.; 2002, Diseño y construcción de un simulador de lluvia para estudios de erosión de suelo., pp 16-54.

Bosch, J. Y Hewlett, J. (1982) "A Review of Catchment Experiments to Determine the Effect of Vegetation Changes on Water Yield and Evapotranspiration". *Journal of Hydrology*, Vol 55 pp.3-23.

Bristow, K. L. et al., 1985, Simulation of heat and moisture transfer through a surface residue-soil system. *Agricultural and Forest Meteorology* 36 pp. 193-214.

Bussièrre Francois, Cellier Pierre; 1994. Modification of the soil temperature and water content regimes by a crop residue mulch: experiment and modelling, *Agricultural and Forest Meteorology* 68 pp. 1-28.

Chung, S. O., Horton, R., 1987. Soil heat and water flow with a partial surface mulch. *Water Resour. Res.* 23 (12), pp. 2175-2186.

Gash J. H. C., 1979. An analitical model of rainfall interception in forest. *Journal Meteorology Society*, pp 105.45-85.

González Sosa Enrique et al., 1999. Modelling heat and water exchanges of fallow land covered with plant-residue mulch. *Agricultural and Forest Meteorology* 97 (3) pp. 151-169.

González Sosa Enrique et al., 2000. Laboratory evidence of evaporation decrease induced by a plant residue mulch layer. *Agricultural and Forest Meteorology*.

Herrera Arrieta Yolanda, 2001 *Las Gramíneas de Durango*, Instituto Politécnico Nacional, CONABIO, Primera edición.

Pizarro Tapia R. (1998). *Análisis de la gestión del agua en zonas áridas y semiáridas: una propuesta de actuación*. Universidad de Talca, Chile.

Ross, P. J. Williams, J. and McCown, R. L., 1985a. Soil temperature and the energy balance of vegetative mulch in the semi-arid tropics. I. Static analysis of the radiation balance. *Aust. J. Soil Res.*, 23: 493-514.

Rutter, A. J., Kershaw, K. A., Robins, P. C., and Morton, A. R., 1971. A predictive rainfall interception in forest. I. Derivation of the model from observations in plantation of Corsican pines. *Agri. Meteorology.*, 9: 367-384.

Schellekens J., Scatena F. N., Bruijnzeel L. A. and Wickel A. J., 1999. Modelling rainfall interception by a lowland tropical rain forest in northeastern Puerto Rico, *Journal of Hidrology* 225(3-4) pp. 168-184.

Sui, H. J. Zeng, D. C., Chen. F. Z., 1992. A numerical model for simulating the temperature and moisture regimes of soil under various mulches. *Agric. For. Meteorol.* 61, pp. 281-299.

Van Bavel, C. H. M. and Hillel, D. I., 1975. A simulation study of soil heat and moisture dynamics as affected by a dry mulch. *Proceedings of the Summer Computer Simulation Conference*, San Francisco, pp. 815-821.

[www.rjbalcala.com/dfd25.htm](http://www.rjbalcala.com/dfd25.htm)

Xiao-Yan Li, 2002. Effects of gravel and sand mulches on dew deposition in the semiarid region of China, *Journal of Hidrology* 260 pp. 151-160.



## **APÉNDICE**



## Anexo 1. Simbología.

SIMBOLO	DESCRIPCION	UNIDAD
$\Delta$	gradiente de presión de vapor	kPa °C <sup>-1</sup>
$\Delta\tau$	incremento en el tiempo	min
$\varepsilon$	relación de peso molecular con el agua con el aire seco	-
$\gamma$	constante psicométrica (densidad y presión atmosférica)	kPa °C <sup>-1</sup>
$\lambda$	calor latente de vaporización	MJ kg <sup>-1</sup>
$\rho$	densidad atmosférica	kg m <sup>-3</sup>
$b$	coeficiente de percolación	mm <sup>-1</sup>
$C$	capacidad de intercepción	mm
$C(\Delta t)$	capacidad de intercepción en el incremento del tiempo	mm
$cp$	calor específico del aire húmedo	kJ kg <sup>-1</sup> °C <sup>-1</sup>
$D$	drenaje	mm min <sup>-1</sup>
$D_{med}(\Delta t)$	drenaje medido en la prueba experimental en el incremento del tiempo	mm min <sup>-1</sup>
$D_{total}(\Delta t)$	$D_{med}(\Delta t) + malla(\Delta t)$	mm min <sup>-1</sup>
$\Delta C$	tasa de cambio del almacenamiento de agua en el lecho	mm
$E$	evaporación	mm d <sup>-1</sup>
$e_a$	presión de saturación de vapor	kPa
$E_{aero}$	evaporación aerodinámica	mm d <sup>-1</sup>
$E_p$	evaporación potencial	mm d <sup>-1</sup>
$E_{rad}$	evaporación por radiación	mm d <sup>-1</sup>
$G$	flujo de calor del suelo	MJ m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup>
$k$	coeficiente de drenaje	mm min <sup>-1</sup>
$malla(\Delta t)$	agua que se quedó atrapada en la malla (que sostenía el lecho) en el incremento del tiempo	mm
$P$	precipitación	mm h <sup>-1</sup>
$P_R(\Delta t)$	precipitación en el incremento del tiempo	mm h <sup>-1</sup>
$Q$	escurrimiento cortical	mm
$R_n$	radiación neta	MJ m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup>
$S$	almacenamiento máximo de agua en el lecho o capacidad máxima de intercepción	mm
$t$	tiempo	min
$T$	flujo de traslocación	mm
$T_i$	temperatura media del aire en un día	°C
$Z$	espesor del lecho	cm

## Anexo 2. Cálculo numérico de la evapotranspiración potencial.

Evapotranspiración total es igual a:

Evaporación por convección más Evaporación por radiación:

$$E = E_{viento} + E_{rad}$$

$$E_{viento} = \frac{86.4}{\lambda} \frac{1}{\Delta + \gamma^*} \frac{\rho c_p}{r_a} (e_a - e_d)$$

$$E_{rad} = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma^*} \frac{(R_n - G)}{\lambda}$$

Como las pruebas se realizaron en un lugar cerrado, la evaporación por viento se considera nula.

Cálculo de la presión de saturación de vapor:

$$e_a = 0.61078 e^{\left(\frac{17.27T}{T+237.3}\right)}$$

T= 20°C

ea 2.34kPa

Cálculo del gradiente de presión de vapor:

$$\Delta = \frac{4098e_a}{(T + 237.3)^2}$$

$$\Delta = 0.144735 \text{ kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$$

Cálculo de la constante psicometrica

$$\gamma = \frac{c_p P}{\epsilon \lambda} \times 10^{-3}$$

Calor específico del aire húmedo

Cp= 1.013kJ kg<sup>-1</sup> °C

Razón del peso molecular del agua con el aire seco

ε 0.622

Calor latente de vaporización (MJ kg<sup>-1</sup>)

$$\lambda = 2.501 - 0.002361T'$$

$$\lambda = 2.45378$$

Presión atmosférica P (kPa) 1.013

Constante psicométrica 0.000672 kPa °C<sup>-1</sup>

#### Cálculo del flujo de calor del suelo

$$G = 0.38(T_i - T_{i-1})$$

$$T_i = 25$$

$$T_{i-1} = 20$$

$$G = 1.9$$

#### Cálculo de la radiación neta (MJ m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>)

$$R_n = 1000 \text{ W m}^{-2}$$

$$R_n = 3.6 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$$

#### Cálculo de la evapotranspiración

$$E_{\text{rad}} = 0.689605 \text{ mm d}^{-1}$$

cuyo valor equivale en milímetros sobre minuto a:

$$E_{\text{rad}} = 0.000479 \text{ mm min}^{-1}$$

**Anexo 3. Tablas de cálculo del balance de masa de los resultados experimentales para: cada lecho, espesor de lecho e intensidad de lluvia.**

$$I = 25 \text{ c min}^{-1} = 9.8 \text{ mm h}^{-1}$$

Aserín, 5 cm

**Tambo 1** to (min)=35

t min	$\Delta t$ min	$P_R (\Delta t)$ mmh <sup>-1</sup>	$D_{med} (\Delta t)$ mm	C ( $\Delta t$ ) mm	mailla ( $\Delta t$ ) mm	$D_{total} (\Delta t)$ mm
0						
5	5	0.8		0.8	0.0	0.0
10	5	0.8		0.8	0.0	0.0
15	5	0.8		0.8	0.0	0.0
20	5	0.8		0.8	0.0	0.0
25	5	0.8		0.8	0.1	0.1
30	5	0.8		0.7	0.1	0.1
35	5	0.8	0.0	0.7	0.1	0.1
40	5	0.8	0.8	0.0	0.0	0.8
45	5	0.8	0.8	0.0	0.0	0.8
50	5	0.8	0.8	0.0	0.0	0.8
55	5	0.8	0.8	0.0	0.0	0.8
60	5	0.8	0.8	0.0	0.0	0.8
total	60	9.8	4.1	5.4	0.4	4.5

**Tambo 3** to (min)= ND

t min	$\Delta t$ min	$P_R (\Delta t)$ mmh <sup>-1</sup>	$D_{med} (\Delta t)$ mm	C ( $\Delta t$ ) mm	mailla ( $\Delta t$ ) mm	$D_{total} (\Delta t)$ mm
0						
5	5	0.8		0.8	0.0	0.0
10	5	0.8		0.8	0.0	0.0
15	5	0.8		0.8	0.0	0.0
20	5	0.8		0.8	0.0	0.0
25	5	0.8		0.8	0.0	0.0
30	5	0.8		0.8	0.0	0.0
35	5	0.8		0.8	0.0	0.0
40	5	0.8		0.8	0.0	0.0
45	5	0.8		0.8	0.0	0.0
50	5	0.8		0.8	0.0	0.0
55	5	0.8		0.8	0.0	0.0
60	5	0.8		0.8	0.0	0.0
total	60	9.8	0.0	9.4	0.4	0.4

**Tambo 4**

$t_0$  (min)=37.3

t min	$\Delta t$ min	$P_R (\Delta t)$ $\text{mmh}^{-1}$	$D_{med} (\Delta t)$ mm	C ( $\Delta t$ ) mm	malla ( $\Delta t$ ) mm	$D_{total} (\Delta t)$ mm
0						
5	5	0.8		0.8	0.0	0.0
10	5	0.8		0.8	0.0	0.0
15	5	0.8		0.8	0.0	0.0
20	5	0.8		0.8	0.0	0.0
25	5	0.8		0.8	0.0	0.0
30	5	0.8		0.8	0.0	0.0
35	5	0.8		0.6	0.2	0.2
40	5	0.8	0.0	0.6	0.2	0.2
45	5	0.8	0.2	0.6	0.0	0.2
50	5	0.8	0.8	0.0	0.0	0.8
55	5	0.8	0.8	0.0	0.0	0.8
60	5	0.8	0.8	0.0	0.0	0.8
total	60	9.8	2.6	6.7	0.5	3.1

$I = 25 \text{ c min}^{-1} = 9.8 \text{ mm h}^{-1}$   
Aserrín, 10 cm

**Tambo 1**

$t_0$  (min)=ND

t min	$\Delta t$ min	$P_R (\Delta t)$ $\text{mmh}^{-1}$	$D_{med} (\Delta t)$ mm	C ( $\Delta t$ ) mm	malla ( $\Delta t$ ) mm	$D_{total} (\Delta t)$ mm
0						
5	5	0.8		0.8	0.0	0.0
10	5	0.8		0.8	0.0	0.0
15	5	0.8		0.8	0.0	0.0
20	5	0.8		0.8	0.0	0.0
25	5	0.8		0.8	0.0	0.0
30	5	0.8		0.8	0.0	0.0
35	5	0.8		0.8	0.0	0.0
40	5	0.8		0.8	0.0	0.0
45	5	0.8		0.8	0.0	0.0
50	5	0.8		0.8	0.0	0.0
55	5	0.8		0.8	0.0	0.0
60	5	0.8		0.8	0.0	0.0
total	60	9.9	0.0	9.6	0.3	0.3

**Tambo 3**

to (min)= ND

t min	$\Delta t$ min	$P_R (\Delta t)$ $mmh^{-1}$	$D_{med} (\Delta t)$ mm	C ( $\Delta t$ ) mm	malla ( $\Delta t$ ) mm	$D_{total} (\Delta t)$ mm
0						
5	5	0.8		0.8	0.0	0.0
10	5	0.8		0.8	0.0	0.0
15	5	0.8		0.8	0.0	0.0
20	5	0.8		0.8	0.0	0.0
25	5	0.8		0.8	0.0	0.0
30	5	0.8		0.8	0.0	0.0
35	5	0.8		0.8	0.0	0.0
40	5	0.8		0.8	0.0	0.0
45	5	0.8		0.8	0.0	0.0
50	5	0.8		0.8	0.0	0.0
55	5	0.8		0.8	0.0	0.0
60	5	0.8		0.8	0.0	0.0
total	60	9.8	0.0	9.7	0.2	0.2

**Tambo 4**

to (min)= ND

t min	$\Delta t$ min	$P_R (\Delta t)$ $mmh^{-1}$	$D_{med} (\Delta t)$ mm	C ( $\Delta t$ ) mm	malla ( $\Delta t$ ) mm	$D_{total} (\Delta t)$ mm
0						
5	5	0.8		0.8	0.0	0.0
10	5	0.8		0.8	0.0	0.0
15	5	0.8		0.8	0.0	0.0
20	5	0.8		0.8	0.0	0.0
25	5	0.8		0.8	0.0	0.0
30	5	0.8		0.8	0.0	0.0
35	5	0.8		0.8	0.0	0.0
40	5	0.8		0.8	0.0	0.0
45	5	0.8		0.8	0.0	0.0
50	5	0.8		0.8	0.0	0.0
55	5	0.8		0.8	0.0	0.0
60	5	0.8		0.8	0.0	0.0
total	60	9.8	0.0	9.5	0.3	0.3

$I = 75 \text{ c min}^{-1} = 30.2 \text{ mm h}^{-1}$   
 Aserrín, 5 cm

**Tambo 1**

$t_0 \text{ (min)}=1$

<b>t</b> min	<b>Δt</b> min	<b>P<sub>R</sub> (Δt)</b> mmh <sup>-1</sup>	<b>D<sub>med</sub> (Δt)</b> mm	<b>C (Δt)</b> mm	<b>malla (Δt)</b> mm	<b>D<sub>total</sub> (Δt)</b> mm
0						
5	5	2.5	0.4	1.9	0.2	0.6
10	5	2.5	1.3	1.1	0.1	1.4
15	5	2.5	1.8	0.6	0.1	1.9
20	5	2.5	2.2	0.3	0.0	2.2
25	5	2.5	2.3	0.2	0.0	2.4
30	5	2.5	2.4	0.1	0.0	2.4
35	5	2.5	2.5	0.0	0.0	2.5
40	5	2.5	2.5	0.0	0.0	2.5
45	5	2.5	2.5	0.0	0.0	2.5
50	5	2.5	2.5	0.0	0.0	2.5
55	5	2.5	2.5	0.0	0.0	2.5
60	5	2.5	2.5	0.0	0.0	2.5
<b>total</b>	<b>60</b>	<b>30.2</b>	<b>25.4</b>	<b>4.4</b>	<b>0.4</b>	<b>25.9</b>

**Tambo 3**

$t_0 \text{ (min)}= 12.4$

<b>t</b> min	<b>Δt</b> min	<b>P<sub>R</sub> (Δt)</b> mmh <sup>-1</sup>	<b>D<sub>med</sub> (Δt)</b> mm	<b>C (Δt)</b> mm	<b>malla (Δt)</b> mm	<b>D<sub>total</sub> (Δt)</b> mm
0						
5	5	2.5		2.4	0.2	0.2
10	5	2.5		2.4	0.2	0.2
15	5	2.5	0.6	1.7	0.2	0.8
20	5	2.5	1.3	1.1	0.1	1.4
25	5	2.5	2.0	0.5	0.0	2.0
30	5	2.5	2.2	0.4	0.0	2.2
35	5	2.5	2.2	0.3	0.0	2.3
40	5	2.5	2.5	0.0	0.0	2.6
45	5	2.5	2.5	0.0	0.0	2.5
50	5	2.5	2.5	0.0	0.0	2.5
55	5	2.5	2.5	0.0	0.0	2.5
60	5	2.5	2.5	0.0	0.0	2.5
<b>total</b>	<b>60</b>	<b>30.5</b>	<b>21.0</b>	<b>8.8</b>	<b>0.7</b>	<b>21.7</b>

**Tambo 4**

$t_0$  (min) = 10.2

t min	$\Delta t$ min	$P_R (\Delta t)$ mmh <sup>-1</sup>	$D_{med} (\Delta t)$ mm	C ( $\Delta t$ ) mm	malla ( $\Delta t$ ) mm	$D_{total} (\Delta t)$ mm
0						
5	5	2.5		2.4	0.1	0.1
10	5	2.5		2.4	0.2	0.2
15	5	2.5	0.9	1.4	0.3	1.2
20	5	2.5	1.6	0.8	0.2	1.7
25	5	2.5	1.9	0.5	0.1	2.0
30	5	2.5	2.1	0.5	0.0	2.1
35	5	2.5	2.3	0.2	0.0	2.3
40	5	2.5	2.5	0.0	0.0	2.5
45	5	2.5	2.5	0.0	0.0	2.5
50	5	2.5	2.5	0.0	0.0	2.5
55	5	2.5	2.5	0.0	0.0	2.5
60	5	2.5	2.5	0.0	0.0	2.5
total	60	30.3	21.3	8.2	0.8	22.2

$I = 75 \text{ c min}^{-1} = 30.2 \text{ mm h}^{-1}$   
Aserrín, 10 cm

**Tambo 1**

$t_0$  (min) = 25.9

t min	$\Delta t$ min	$P_R (\Delta t)$ mmh <sup>-1</sup>	$D_{med} (\Delta t)$ mm	C ( $\Delta t$ ) mm	malla ( $\Delta t$ ) mm	$D_{total} (\Delta t)$ mm
0						
5	5	2.5		2.5	0.0	0.0
10	5	2.5		2.5	0.0	0.0
15	5	2.5		2.5	0.0	0.0
20	5	2.5		2.5	0.1	0.1
25	5	2.5		2.4	0.1	0.1
30	5	2.5	0.3	2.0	0.2	0.5
35	5	2.5	0.6	1.8	0.1	0.7
40	5	2.5	1.2	1.2	0.1	1.3
45	5	2.5	2.0	0.5	0.0	2.0
50	5	2.5	2.2	0.2	0.1	2.3
55	5	2.5	2.4	0.1	0.0	2.4
60	5	2.5	2.5	0.0	0.0	2.5
total	60	30.2	11.3	18.4	0.5	11.8

**Tambo 3**

to (min)= 42.8

t min	$\Delta t$ min	$P_R (\Delta t)$ $\text{mmh}^{-1}$	$D_{med} (\Delta t)$ mm	C ( $\Delta t$ ) mm	malla ( $\Delta t$ ) mm	$D_{total} (\Delta t)$ mm
0						
5	5	2.5		2.5	0.0	0.0
10	5	2.5		2.5	0.0	0.0
15	5	2.5		2.5	0.0	0.0
20	5	2.5		2.5	0.0	0.0
25	5	2.5		2.5	0.1	0.06
30	5	2.5		2.5	0.1	0.06
35	5	2.5		2.4	0.1	0.13
40	5	2.5		2.4	0.1	0.13
45	5	2.5	0.5	1.9	0.1	0.6
50	5	2.5	1.2	1.3	0.1	1.2
55	5	2.5	1.8	0.7	0.1	1.8
60	5	2.5	2.4	0.1	0.1	2.5
total	60	30.2	5.9	23.7	0.6	6.5

**Tambo 4**

to (min)= 45.4

t min	$\Delta t$ min	$P_R (\Delta t)$ $\text{mmh}^{-1}$	$D_{med} (\Delta t)$ mm	C ( $\Delta t$ ) mm	malla ( $\Delta t$ ) mm	$D_{total} (\Delta t)$ mm
0						
5	5	2.5		2.5	0.0	0.00
10	5	2.5		2.5	0.0	0.00
15	5	2.5		2.5	0.0	0.00
20	5	2.5		2.5	0.0	0.00
25	5	2.5		2.5	0.0	0.03
30	5	2.5		2.5	0.1	0.06
35	5	2.5		2.4	0.1	0.12
40	5	2.5		2.4	0.1	0.12
45	5	2.5		2.3	0.2	0.22
50	5	2.5	1.3	1.1	0.1	1.39
55	5	2.5	1.7	0.8	0.0	1.68
60	5	2.5	2.3	0.2	0.0	2.32
total	60	30.2	5.3	24.3	0.6	6.0

$I = 100 \text{ c min}^{-1} = 40.4 \text{ mm h}^{-1}$   
 Aserín, 5 cm

**Tambo 1**  $t_o (\text{min})=3.8$

<b>t</b> <i>min</i>	<b><math>\Delta t</math></b> <i>min</i>	<b><math>P_R (\Delta t)</math></b> <i>mmh<sup>-1</sup></i>	<b><math>D_{med} (\Delta t)</math></b> <i>mm</i>	<b><math>C (\Delta t)</math></b> <i>mm</i>	<b>mallá (<math>\Delta t</math>)</b> <i>mm</i>	<b><math>D_{total} (\Delta t)</math></b> <i>mm</i>
0						
5	5	3.4	0.1	3.1	0.2	0.2
10	5	3.4	1.2	2.0	0.1	1.4
15	5	3.4	2.3	0.9	0.1	2.4
20	5	3.4	3.2	0.2	0.0	3.2
25	5	3.4	3.2	0.1	0.0	3.2
30	5	3.4	3.2	0.1	0.0	3.3
35	5	3.4	3.3	0.0	0.0	3.3
40	5	3.4	3.3	0.1	0.0	3.3
45	5	3.4	3.3	0.0	0.0	3.3
50	5	3.4	3.3	0.0	0.0	3.3
55	5	3.4	3.3	0.0	0.0	3.3
60	5	3.4	3.3	0.0	0.0	3.3
<b>total</b>	<b>60</b>	<b>40.4</b>	<b>33.2</b>	<b>6.7</b>	<b>0.5</b>	<b>33.7</b>

**Tambo 3**  $t_o (\text{min})= 5$

<b>t</b> <i>min</i>	<b><math>\Delta t</math></b> <i>min</i>	<b><math>P_R (\Delta t)</math></b> <i>mmh<sup>-1</sup></i>	<b><math>D_{med} (\Delta t)</math></b> <i>mm</i>	<b><math>C (\Delta t)</math></b> <i>mm</i>	<b>mallá (<math>\Delta t</math>)</b> <i>mm</i>	<b><math>D_{total} (\Delta t)</math></b> <i>mm</i>
0						
5	5	3.4		3.3	0.1	0.1
10	5	3.4	0.0	3.3	0.1	0.1
15	5	3.4	1.2	2.0	0.2	1.4
20	5	3.4	2.2	1.0	0.1	2.4
25	5	3.4	3.0	0.3	0.1	3.0
30	5	3.4	3.0	0.3	0.1	3.1
35	5	3.4	3.2	0.1	0.0	3.3
40	5	3.4	3.1	0.2	0.0	3.2
45	5	3.4	3.4	0.0	0.0	3.4
50	5	3.4	3.4	0.0	0.0	3.4
55	5	3.4	3.3	0.0	0.0	3.3
60	5	3.4	3.3	0.0	0.0	3.3
<b>total</b>	<b>60</b>	<b>40.4</b>	<b>29.2</b>	<b>10.6</b>	<b>0.7</b>	<b>29.8</b>

**Tambo 4**

to (min)= 5.3

t min	Δt min	P <sub>R</sub> (Δt) mmh <sup>-1</sup>	D <sub>med</sub> (Δt) mm	C (Δt) mm	malla (Δt) mm	D <sub>total</sub> (Δt) mm
0						
5	5	3.4		3.2	0.2	0.2
10	5	3.4	0.1	3.0	0.2	0.3
15	5	3.4	1.2	2.0	0.2	1.4
20	5	3.4	2.4	0.9	0.1	2.5
25	5	3.4	3.0	0.3	0.0	3.1
30	5	3.4	3.1	0.3	0.0	3.1
35	5	3.4	3.3	0.1	0.0	3.3
40	5	3.4	3.3	0.0	0.0	3.4
45	5	3.4	3.3	0.0	0.0	3.3
50	5	3.4	3.4	0.0	0.0	3.4
55	5	3.4	3.4	0.0	0.0	3.4
60	5	3.4	3.4	0.0	0.0	3.4
total	60	40.4	29.8	9.8	0.8	30.6

I = 100 c min<sup>-1</sup> = 40.4 mm h<sup>-1</sup>  
 Aserín, 10 cm

**Tambo 1**

to (min)=21.5

t min	Δt min	P <sub>R</sub> (Δt) mmh <sup>-1</sup>	D <sub>med</sub> (Δt) mm	C (Δt) mm	malla (Δt) mm	D <sub>total</sub> (Δt) mm
0						
5	5	3.4		3.4	0.0	0.0
10	5	3.4		3.3	0.0	0.0
15	5	3.4		3.3	0.1	0.1
20	5	3.4		3.2	0.2	0.2
25	5	3.4	0.8	2.6	0.1	0.8
30	5	3.4	2.1	1.2	0.1	2.2
35	5	3.4	3.0	0.4	0.0	3.0
40	5	3.4	3.3	0.1	0.0	3.3
45	5	3.4	3.2	0.1	0.0	3.2
50	5	3.4	3.3	0.1	0.0	3.3
55	5	3.4	3.4	0.0	0.0	3.4
60	5	3.4	3.4	0.0	0.0	3.4
total	60	40.5	22.4	17.7	0.5	22.9

**Tambo 3**

to (min)= 30.2

t min	$\Delta t$ min	$P_R (\Delta t)$ $\text{mmh}^{-1}$	$D_{med} (\Delta t)$ mm	C ( $\Delta t$ ) mm	malla ( $\Delta t$ ) mm	$D_{total} (\Delta t)$ mm
0						
5	5	3.4		3.4	0.0	0.0
10	5	3.4		3.4	0.0	0.0
15	5	3.4		3.4	0.0	0.0
20	5	3.4		3.4	0.0	0.0
25	5	3.4		3.3	0.1	0.1
30	5	3.4		3.2	0.2	0.2
35	5	3.4	2.2	1.0	0.2	2.4
40	5	3.4	2.9	0.4	0.1	3.0
45	5	3.4	3.2	0.1	0.1	3.2
50	5	3.4	3.4	0.0	0.0	3.4
55	5	3.4	3.4	0.0	0.0	3.4
60	5	3.4	3.4	0.0	0.0	3.4
total	60	40.4	18.3	21.4	0.6	19.0

**Tambo 4**

to (min)= 30.5

t min	$\Delta t$ min	$P_R (\Delta t)$ $\text{mmh}^{-1}$	$D_{med} (\Delta t)$ mm	C ( $\Delta t$ ) mm	malla ( $\Delta t$ ) mm	$D_{total} (\Delta t)$ mm
0						
5	5	3.4		3.4	0.0	0.0
10	5	3.4		3.4	0.0	0.0
15	5	3.4		3.4	0.0	0.0
20	5	3.4		3.4	0.0	0.0
25	5	3.4		3.3	0.1	0.1
30	5	3.4		3.2	0.2	0.2
35	5	3.4	2.4	0.76	0.2	2.6
40	5	3.4	2.7	0.6	0.1	2.8
45	5	3.4	3.0	0.3	0.0	3.0
50	5	3.4	3.3	0.1	0.0	3.3
55	5	3.4	3.4	0.0	0.0	3.4
60	5	3.4	3.4	0.0	0.0	3.4
total	60	40.4	18.1	21.6	0.7	18.8

$I = 175 \text{ c min}^{-1} = 70.9 \text{ mm h}^{-1}$   
 Asemín, 5 cm

**Tambo 1**

$t_0 \text{ (min)} = 4.7$

t min	$\Delta t$ min	$P_R (\Delta t)$ $\text{mmh}^{-1}$	$D_{\text{med}} (\Delta t)$ mm	C ( $\Delta t$ ) mm	malla ( $\Delta t$ ) mm	$D_{\text{total}} (\Delta t)$ mm
0						
5	5	5.9	0.1	5.5	0.4	0.4
10	5	5.9	2.5	3.2	0.2	2.7
15	5	5.9	4.4	1.4	0.1	4.5
20	5	5.9	5.3	0.6	0.0	5.3
25	5	5.9	5.7	0.2	0.0	5.7
30	5	5.9	5.8	0.0	0.0	5.9
35	5	5.9	5.9	0.0	0.0	5.9
40	5	5.9	5.9	0.0	0.0	5.9
45	5	5.9	5.9	0.0	0.0	5.9
50	5	5.9	5.9	0.0	0.0	5.9
55	5	5.9	5.8	0.1	0.0	5.8
60	5	5.9	5.8	0.1	0.0	5.8
total	60	70.8	59.0	11.0	0.8	59.8

**Tambo 3**

$t_0 \text{ (min)} = 5.3$

t min	$\Delta t$ min	$P_R (\Delta t)$ $\text{mmh}^{-1}$	$D_{\text{med}} (\Delta t)$ mm	C ( $\Delta t$ ) mm	malla ( $\Delta t$ ) mm	$D_{\text{total}} (\Delta t)$ mm
0						
5	5	5.9		5.6	0.3	0.3
10	5	5.9	3.0	2.7	0.2	3.2
15	5	5.9	4.6	1.3	0.1	4.7
20	5	5.9	5.3	0.6	0.1	5.4
25	5	5.9	5.8	0.0	0.0	5.9
30	5	5.9	5.9	0.0	0.0	6.0
35	5	5.9	5.8	0.1	0.1	5.8
40	5	5.9	5.8	0.1	0.1	5.8
45	5	5.9	5.9	0.0	0.0	5.9
50	5	5.9	5.9	0.0	0.0	5.9
55	5	5.9	5.9	0.0	0.0	5.9
60	5	5.9	6.0	-0.1	0.0	6.0
total	60	71.0	59.9	10.2	0.9	60.8

**Tambo 4** $t_0$  (min)= 6.3

t min	$\Delta t$ min	$P_R$ ( $\Delta t$ ) $\text{mmh}^{-1}$	$D_{med}$ ( $\Delta t$ ) mm	C ( $\Delta t$ ) mm	mallá ( $\Delta t$ ) mm	$D_{total}$ ( $\Delta t$ ) mm
0						
5	5	5.9		5.7	0.3	0.3
10	5	5.9	2.6	3.1	0.2	2.8
15	5	5.9	4.4	1.4	0.1	4.5
20	5	5.9	5.2	0.7	0.1	5.3
25	5	5.9	5.6	0.4	0.0	5.6
30	5	5.9	5.9	0.0	0.0	5.9
35	5	5.9	5.9	0.0	0.0	5.9
40	5	5.9	5.8	0.1	0.0	5.9
45	5	5.9	5.9	0.0	0.0	5.9
50	5	5.9	5.8	0.1	0.0	5.8
55	5	5.9	5.9	0.0	0.0	5.9
60	5	5.9	5.9	0.0	0.0	5.9
total	60	71.1	58.9	11.4	0.8	59.7

$I = 175 \text{ c min}^{-1} = 70.9 \text{ mm h}^{-1}$   
Aserrín, 10 cm

**Tambo 1** $t_0=16.7$ 

t min	$\Delta t$ min	$P_R$ ( $\Delta t$ ) $\text{mmh}^{-1}$	$D_{med}$ ( $\Delta t$ ) mm	C ( $\Delta t$ ) mm	mallá ( $\Delta t$ ) mm	$D_{total}$ ( $\Delta t$ ) mm
0						
5	5	5.9		5.9	0.1	0.1
10	5	5.9		5.8	0.2	0.2
15	5	5.9		5.7	0.2	0.2
20	5	5.9	0.6	5.2	0.2	0.7
25	5	5.9	2.9	3.0	0.1	3.0
30	5	5.9	5.0	0.9	0.1	5.1
35	5	5.9	5.8	0.1	0.0	5.9
40	5	5.9	5.8	0.1	0.0	5.8
45	5	5.9	5.9	0.0	0.0	5.9
50	5	5.9	6.0	0.0	0.0	6.0
55	5	5.9	6.0	0.0	0.0	6.0
60	5	5.9	6.0	0.0	0.0	6.0
total	60	71.4	43.9	26.7	0.8	44.7

**Tambo 3**

$t_0=18.5$

<b>t</b> <b>min</b>	<b><math>\Delta t</math></b> <b>min</b>	<b><math>P_R (\Delta t)</math></b> <b><math>mmh^{-1}</math></b>	<b><math>D_{med} (\Delta t)</math></b> <b>mm</b>	<b>C (<math>\Delta t</math>)</b> <b>mm</b>	<b>malla (<math>\Delta t</math>)</b> <b>mm</b>	<b><math>D_{total} (\Delta t)</math></b> <b>mm</b>
0						
5	5	5.9		5.9	0.0	0.0
10	5	5.9		5.8	0.1	0.1
15	5	5.9		5.6	0.3	0.3
20	5	5.9	0.4	5.2	0.3	0.8
25	5	5.9	4.4	1.5	0.0	4.4
30	5	5.9	5.9	0.0	0.0	5.9
35	5	5.9	5.9	0.0	0.0	5.9
40	5	5.9	5.9	0.0	0.0	5.9
45	5	5.9	5.9	0.0	0.0	5.9
50	5	5.9	5.9	0.0	0.0	5.9
55	5	5.9	5.9	0.0	0.0	5.9
60	5	5.9	6.0	0.0	0.0	6.0
total	60	71.0	46.2	24.0	0.8	47.0

**Tambo 4**

$t_0=20.5$

<b>t</b> <b>min</b>	<b><math>\Delta t</math></b> <b>min</b>	<b><math>P_R (\Delta t)</math></b> <b><math>mmh^{-1}</math></b>	<b><math>D_{med} (\Delta t)</math></b> <b>mm</b>	<b>C (<math>\Delta t</math>)</b> <b>mm</b>	<b>malla (<math>\Delta t</math>)</b> <b>mm</b>	<b><math>D_{total} (\Delta t)</math></b> <b>mm</b>
0						
5	5	5.9		5.9	0.0	0.0
10	5	5.9		5.8	0.1	0.1
15	5	5.9		5.6	0.4	0.4
20	5	5.9		5.3	0.6	0.6
25	5	5.9	2.9	3.0	0.0	2.9
30	5	5.9	4.3	1.6	0.0	4.3
35	5	5.9	5.6	0.3	0.0	5.6
40	5	5.9	5.6	0.3	0.0	5.6
45	5	5.9	5.9	0.0	0.0	5.9
50	5	5.9	5.9	0.0	0.0	5.9
55	5	5.9	5.9	0.0	0.0	5.9
60	5	5.9	5.9	0.0	0.0	5.9
total	60	70.9	42.3	27.6	1.0	43.3

$I = 25 \text{ c min}^{-1} = 9.8 \text{ mm h}^{-1}$   
 Hojas, 5 cm

**Tambo 1**  $t_o (\text{min}) = 1.8$

<b>t</b> <b>min</b>	<b><math>\Delta t</math></b> <b>min</b>	<b><math>P_R (\Delta t)</math></b> <b><math>\text{mmh}^{-1}</math></b>	<b><math>D_{med} (\Delta t)</math></b> <b>mm</b>	<b>C (<math>\Delta t</math>)</b> <b>mm</b>	<b>malla (<math>\Delta t</math>)</b> <b>mm</b>	<b><math>D_{total} (\Delta t)</math></b> <b>mm</b>
0						
5	5	0.8	0.3	0.5	0.0	0.3
10	5	0.8	0.7	0.1	0.0	0.7
15	5	0.8	0.7	0.0	0.0	0.8
20	5	0.8	0.8	0.0	0.0	0.8
25	5	0.8	0.8	0.0	0.0	0.8
30	5	0.8	0.8	0.0	0.0	0.8
35	5	0.8	0.8	0.0	0.0	0.8
40	5	0.8	0.8	0.0	0.0	0.8
45	5	0.8	0.8	0.0	0.0	0.8
50	5	0.8	0.8	0.0	0.0	0.8
55	5	0.8	0.8	0.0	0.0	0.8
60	5	0.8	0.8	0.0	0.0	0.8
<b>total</b>	<b>60</b>	<b>9.8</b>	<b>9.1</b>	<b>0.6</b>	<b>0.1</b>	<b>9.2</b>

**Tambo 3**  $t_o (\text{min}) = 8.1$

<b>t</b> <b>min</b>	<b><math>\Delta t</math></b> <b>min</b>	<b><math>P_R (\Delta t)</math></b> <b><math>\text{mmh}^{-1}</math></b>	<b><math>D_{med} (\Delta t)</math></b> <b>mm</b>	<b>C (<math>\Delta t</math>)</b> <b>mm</b>	<b>malla (<math>\Delta t</math>)</b> <b>mm</b>	<b><math>D_{total} (\Delta t)</math></b> <b>mm</b>
0						
5	5	0.8		0.6	0.3	0.3
10	5	0.8	0.1	0.5	0.2	0.3
15	5	0.8	0.6	0.1	0.2	0.7
20	5	0.8	0.8	0.0	0.0	0.8
25	5	0.8	0.8	0.0	0.0	0.8
30	5	0.8	0.8	0.0	0.0	0.8
35	5	0.8	0.8	0.0	0.0	0.8
40	5	0.8	0.8	0.0	0.0	0.8
45	5	0.8	0.8	0.0	0.0	0.8
50	5	0.8	0.8	0.0	0.0	0.8
55	5	0.8	0.8	0.0	0.0	0.8
60	5	0.8	0.8	0.0	0.0	0.8
<b>total</b>	<b>60</b>	<b>9.8</b>	<b>7.9</b>	<b>1.2</b>	<b>0.6</b>	<b>8.6</b>

**Tambo 4**

to (min)= 5.2

t min	$\Delta t$ min	$P_R (\Delta t)$ mmh <sup>-1</sup>	$D_{med} (\Delta t)$ mm	C ( $\Delta t$ ) mm	malla ( $\Delta t$ ) mm	$D_{total} (\Delta t)$ mm
0						
5	5	0.8		0.7	0.1	0.1
10	5	0.8	0.4	0.4	0.1	0.5
15	5	0.8	0.7	0.1	0.0	0.7
20	5	0.8	0.7	0.1	0.1	0.7
25	5	0.8	0.7	0.1	0.0	0.7
30	5	0.8	0.8	0.0	0.0	0.8
35	5	0.8	0.8	0.0	0.0	0.8
40	5	0.8	0.8	0.0	0.0	0.8
45	5	0.8	0.8	0.0	0.0	0.8
50	5	0.8	0.8	0.0	0.0	0.8
55	5	0.8	0.8	0.0	0.0	0.8
60	5	0.8	0.8	0.0	0.0	0.8
total	60	9.8	8.0	1.5	0.2	8.3

$$I = 25 \text{ c min}^{-1} = 9.8 \text{ mm h}^{-1}$$

Hojas, 10 cm

**Tambo 1**

to (min)=6.7

t min	$\Delta t$ min	$P_R (\Delta t)$ mmh <sup>-1</sup>	$D_{med} (\Delta t)$ mm	C ( $\Delta t$ ) mm	malla ( $\Delta t$ ) mm	$D_{total} (\Delta t)$ mm
0						
5	5	0.8		0.6	0.2	0.2
10	5	0.8	0.3	0.4	0.2	0.5
15	5	0.8	0.8	0.0	0.0	0.8
20	5	0.8	0.8	0.0	0.0	0.8
25	5	0.8	0.8	0.0	0.0	0.8
30	5	0.8	0.8	0.0	0.0	0.8
35	5	0.8	0.8	0.0	0.0	0.8
40	5	0.8	0.8	0.0	0.0	0.8
45	5	0.8	0.8	0.0	0.0	0.8
50	5	0.8	0.8	0.0	0.0	0.8
55	5	0.8	0.8	0.0	0.0	0.8
60	5	0.8	0.8	0.0	0.0	0.8
total	60	9.8	8.3	1.1	0.4	8.7

**Tambo 3**

to (min)= 12

t min	$\Delta t$ min	$P_R (\Delta t)$ $mmh^{-1}$	$D_{med} (\Delta t)$ mm	C ( $\Delta t$ ) mm	mallá ( $\Delta t$ ) mm	$D_{total} (\Delta t)$ mm
0						
5	5	0.8		0.7	0.1	0.1
10	5	0.8		0.7	0.1	0.1
15	5	0.8	0.1	0.6	0.1	0.2
20	5	0.8	0.1	0.6	0.1	0.2
25	5	0.8	0.3	0.4	0.1	0.4
30	5	0.8	0.5	0.2	0.1	0.6
35	5	0.8	0.8	0.1	0.0	0.8
40	5	0.8	0.8	0.0	0.0	0.8
45	5	0.8	0.8	0.0	0.0	0.8
50	5	0.8	0.8	0.0	0.0	0.8
55	5	0.8	0.8	0.0	0.0	0.8
60	5	0.8	0.8	0.0	0.0	0.8
total	60	9.8	5.9	3.4	0.6	6.5

**Tambo 4**

to (min)= 12.5

t min	$\Delta t$ min	$P_R (\Delta t)$ $mmh^{-1}$	$D_{med} (\Delta t)$ mm	C ( $\Delta t$ ) mm	mallá ( $\Delta t$ ) mm	$D_{total} (\Delta t)$ mm
0						
5	5	0.8		0.7	0.1	0.1
10	5	0.8		0.7	0.1	0.1
15	5	0.8	0.0	0.7	0.1	0.1
20	5	0.8	0.6	0.2	0.0	0.6
25	5	0.8	0.8	0.0	0.0	0.8
30	5	0.8	0.8	0.0	0.0	0.8
35	5	0.8	0.8	0.0	0.0	0.8
40	5	0.8	0.8	0.0	0.0	0.8
45	5	0.8	0.8	0.0	0.0	0.8
50	5	0.8	0.8	0.0	0.0	0.8
55	5	0.8	0.8	0.0	0.0	0.8
60	5	0.8	0.8	0.0	0.0	0.8
total	60	10.0	7.2	2.4	0.4	7.6

$I = 75 \text{ c min}^{-1} = 30.2 \text{ mm h}^{-1}$   
 Hojas, 5 cm

**Tambo 1**

$t_0 \text{ (min)} = 2.5$

t min	$\Delta t$ min	$P_R (\Delta t)$ mmh <sup>-1</sup>	$D_{med} (\Delta t)$ mm	C ( $\Delta t$ ) mm	malla ( $\Delta t$ ) mm	$D_{total} (\Delta t)$ mm
0						
5	5	2.5	0.6	1.7	0.2	0.8
10	5	2.5	2.3	0.2	0.1	2.3
15	5	2.5	2.5	0.0	0.0	2.5
20	5	2.5	2.5	0.0	0.0	2.5
25	5	2.5	2.5	0.0	0.0	2.5
30	5	2.5	2.5	0.0	0.0	2.5
35	5	2.5	2.5	0.0	0.0	2.5
40	5	2.5	2.5	0.0	0.0	2.5
45	5	2.5	2.5	0.0	0.0	2.5
50	5	2.5	2.6	0.0	0.0	2.6
55	5	2.5	2.5	0.0	0.0	2.5
60	5	2.5	2.5	0.0	0.0	2.5
total	60	30.3	28.0	1.9	0.4	28.4

**Tambo 3**

$t_0 \text{ (min)} = 4.7$

t min	$\Delta t$ min	$P_R (\Delta t)$ mmh <sup>-1</sup>	$D_{med} (\Delta t)$ mm	C ( $\Delta t$ ) mm	malla ( $\Delta t$ ) mm	$D_{total} (\Delta t)$ mm
0						
5	5	2.5	0.2	1.9	0.4	0.6
10	5	2.5	1.6	0.65	0.3	1.9
15	5	2.5	2.4	0.13	0.0	2.4
20	5	2.5	2.5	0.0	0.0	2.5
25	5	2.5	2.5	0.0	0.0	2.5
30	5	2.5	2.5	0.03	0.0	2.5
35	5	2.5	2.5	0.0	0.0	2.5
40	5	2.5	2.5	0.00	0.0	2.5
45	5	2.5	2.5	0.0	0.0	2.5
50	5	2.5	2.5	0.0	0.0	2.5
55	5	2.5	2.5	0.0	0.0	2.5
60	5	2.5	2.5	0.0	0.0	2.5
total	60	30.2	26.8	2.6	0.8	27.6

**Tambo 4**

to (min)= 4

t min	Δt min	P <sub>R</sub> (Δt) mmh <sup>-1</sup>	D <sub>med</sub> (Δt) mm	C (Δt) mm	malla (Δt) mm	D <sub>total</sub> (Δt) mm
0						
5	5	2.5	0.2	2.1	0.3	0.5
10	5	2.5	1.7	0.8	0.1	1.8
15	5	2.5	2.3	0.2	0.0	2.3
20	5	2.5	2.5	0.05	0.0	2.5
25	5	2.5	2.4	0.1	0.0	2.5
30	5	2.5	2.4	0.03	0.1	2.5
35	5	2.5	2.5	0.04	0.0	2.5
40	5	2.5	2.5	0.0	0.0	2.5
45	5	2.5	2.5	0.0	0.0	2.5
50	5	2.5	2.5	0.0	0.0	2.5
55	5	2.5	2.5	0.0	0.0	2.5
60	5	2.5	2.5	0.0	0.0	2.5
total	60	30.2	26.4	3.2	0.6	27.0

$I = 75 \text{ c min}^{-1} = 30.2 \text{ mm h}^{-1}$   
 Hojas, 10 cm

**Tambo 1**

to (min)=4.5

t min	Δt min	P <sub>R</sub> (Δt) mmh <sup>-1</sup>	D <sub>med</sub> (Δt) mm	C (Δt) mm	malla (Δt) mm	D <sub>total</sub> (Δt) mm
0						
5	5	2.5	0.1	2.2	0.3	0.4
10	5	2.5	2.0	0.3	0.2	2.2
15	5	2.5	2.5	0.0	0.0	2.5
20	5	2.5	2.6	0.0	0.0	2.6
25	5	2.5	2.6	0.0	0.0	2.6
30	5	2.5	2.5	0.0	0.0	2.5
35	5	2.5	2.6	0.0	0.0	2.6
40	5	2.5	2.5	0.0	0.0	2.5
45	5	2.5	2.5	0.0	0.0	2.5
50	5	2.5	2.5	0.0	0.0	2.5
55	5	2.5	2.5	0.0	0.0	2.5
60	5	2.5	2.5	0.0	0.0	2.5
total	60	30.5	27.5	2.5	0.5	28.0

**Tambo 3**

to (min)= 6.3

t min	$\Delta t$ min	$P_R (\Delta t)$ mmh <sup>-1</sup>	$D_{med} (\Delta t)$ mm	C ( $\Delta t$ ) mm	malla ( $\Delta t$ ) mm	$D_{total} (\Delta t)$ mm
0						
5	5	2.5	0.0	2.2	0.3	0.3
10	5	2.5	1.3	1.0	0.2	1.5
15	5	2.5	2.2	0.3	0.1	2.3
20	5	2.5	2.5	0.0	0.0	2.5
25	5	2.5	2.5	0.0	0.0	2.5
30	5	2.5	2.5	0.0	0.0	2.5
35	5	2.5	2.5	0.0	0.0	2.5
40	5	2.5	2.5	0.0	0.0	2.5
45	5	2.5	2.5	0.0	0.0	2.5
50	5	2.5	2.5	0.0	0.0	2.5
55	5	2.5	2.5	0.0	0.0	2.5
60	5	2.5	2.5	0.0	0.0	2.5
total	60	30.3	26.2	3.5	0.7	26.9

**Tambo 4**

to (min)= 5.4

t min	$\Delta t$ min	$P_R (\Delta t)$ mmh <sup>-1</sup>	$D_{med} (\Delta t)$ mm	C ( $\Delta t$ ) mm	malla ( $\Delta t$ ) mm	$D_{total} (\Delta t)$ mm
0						
5	5	2.5		2.3	0.3	0.3
10	5	2.5	1.0	1.3	0.2	1.2
15	5	2.5	2.2	0.3	0.1	2.3
20	5	2.5	2.4	0.1	0.1	2.5
25	5	2.5	2.5	0.0	0.0	2.5
30	5	2.5	2.5	0.1	0.0	2.5
35	5	2.5	2.5	0.0	0.0	2.5
40	5	2.5	2.5	0.0	0.0	2.5
45	5	2.5	2.5	0.0	0.0	2.5
50	5	2.5	2.5	0.0	0.0	2.5
55	5	2.5	2.5	0.0	0.0	2.5
60	5	2.5	2.5	0.0	0.0	2.5
total	60	30.2	25.6	3.9	0.6	26.3

$I = 100 \text{ c min}^{-1} = 40.4 \text{ mm h}^{-1}$   
 Hojas, 5 cm

**Tambo 1**

$t_0 \text{ (min)} = 2.7$

t min	$\Delta t$ min	$P_R (\Delta t)$ $\text{mmh}^{-1}$	$D_{med} (\Delta t)$ mm	C ( $\Delta t$ ) mm	mallá ( $\Delta t$ ) mm	$D_{total} (\Delta t)$ mm
0						
5	5	3.4	1.0	2.2	0.2	1.2
10	5	3.4	3.2	0.2	0.0	3.2
15	5	3.4	3.3	0.03	0.0	3.3
20	5	3.4	3.3	0.0	0.0	3.3
25	5	3.4	3.3	0.1	0.0	3.3
30	5	3.4	3.4	0.0	0.0	3.4
35	5	3.4	3.3	0.0	0.0	3.3
40	5	3.4	3.3	0.01	0.1	3.4
45	5	3.4	3.3	0.0	0.0	3.4
50	5	3.4	3.3	0.0	0.1	3.4
55	5	3.4	3.3	0.0	0.1	3.4
60	5	3.4	3.3	0.0	0.0	3.4
total	60	40.5	37.4	2.4	0.7	38.0

**Tambo 3**

$t_0 \text{ (min)} = 3.4$

t min	$\Delta t$ min	$P_R (\Delta t)$ $\text{mmh}^{-1}$	$D_{med} (\Delta t)$ mm	C ( $\Delta t$ ) mm	mallá ( $\Delta t$ ) mm	$D_{total} (\Delta t)$ mm
0						
5	5	3.4	0.7	2.35	0.3	1.0
10	5	3.4	2.9	0.18	0.3	3.2
15	5	3.4	3.4	0.00	0.0	3.4
20	5	3.4	3.4	0.00	0.0	3.4
25	5	3.4	3.4	0.0	0.0	3.4
30	5	3.4	3.4	0.0	0.0	3.4
35	5	3.4	3.4	0.0	0.0	3.4
40	5	3.4	3.4	0.0	0.0	3.4
45	5	3.4	3.4	0.0	0.0	3.4
50	5	3.4	3.4	0.0	0.0	3.4
55	5	3.4	3.4	0.0	0.0	3.4
60	5	3.4	3.4	0.0	0.0	3.4
total	60	40.5	37.3	2.6	0.7	38.0

**Tambo 4**

$t_o$  (min) = 3.5

t min	$\Delta t$ min	$P_R$ ( $\Delta t$ ) $\text{mmh}^{-1}$	$D_{med}$ ( $\Delta t$ ) mm	C ( $\Delta t$ ) mm	malla ( $\Delta t$ ) mm	$D_{total}$ ( $\Delta t$ ) mm
0						
5	5	3.4	0.4	2.58	0.4	0.8
10	5	3.4	2.9	0.41	0.0	3.0
15	5	3.4	3.2	0.1	0.1	3.3
20	5	3.4	3.3	0.1	0.0	3.3
25	5	3.4	3.3	0.03	0.0	3.3
30	5	3.4	3.3	0.0	0.0	3.3
35	5	3.4	3.2	0.0	0.1	3.3
40	5	3.4	3.4	0.0	0.0	3.4
45	5	3.4	3.4	0.0	0.0	3.4
50	5	3.4	3.4	0.0	0.0	3.4
55	5	3.4	3.4	0.0	0.0	3.4
60	5	3.4	3.3	0.0	0.0	3.4
total	60	40.4	36.4	3.2	0.8	37.2

$I = 100 \text{ c min}^{-1} = 40.4 \text{ mm h}^{-1}$   
 Hojas, 10 cm

**Tambo 1**

$t_o$  (min) = 2.9

t min	$\Delta t$ min	$P_R$ ( $\Delta t$ ) $\text{mmh}^{-1}$	$D_{med}$ ( $\Delta t$ ) mm	C ( $\Delta t$ ) mm	malla ( $\Delta t$ ) mm	$D_{total}$ ( $\Delta t$ ) mm
0						
5	5	3.4	0.8	2.5	0.0	0.8
10	5	3.4	3.0	0.3	0.0	3.0
15	5	3.4	3.2	0.1	0.0	3.3
20	5	3.4	3.2	0.1	0.0	3.2
25	5	3.4	3.3	0.1	0.0	3.3
30	5	3.4	3.3	0.1	0.0	3.3
35	5	3.4	3.3	0.1	0.0	3.3
40	5	3.4	3.2	0.1	0.0	3.3
45	5	3.4	3.3	0.1	0.0	3.3
50	5	3.4	3.3	0.1	0.0	3.3
55	5	3.4	3.3	0.1	0.0	3.3
60	5	3.4	3.3	0.1	0.0	3.3
total	60	40.4	36.4	3.6	0.4	36.8

**Tambo 3**

to (min)= 5

t min	$\Delta t$ min	$P_R (\Delta t)$ mmh <sup>-1</sup>	$D_{med} (\Delta t)$ mm	C ( $\Delta t$ ) mm	malla ( $\Delta t$ ) mm	$D_{total} (\Delta t)$ mm
0						
5	5	3.4	0.0	3.1	0.2	0.2
10	5	3.4	2.7	0.6	0.1	2.8
15	5	3.4	3.3	0.1	0.0	3.3
20	5	3.4	3.3	0.03	0.0	3.3
25	5	3.4	3.3	0.0	0.0	3.3
30	5	3.4	3.3	0.0	0.0	3.3
35	5	3.4	3.4	0.0	0.0	3.4
40	5	3.4	3.3	0.0	0.0	3.4
45	5	3.4	3.4	0.0	0.0	3.4
50	5	3.4	3.3	0.0	0.0	3.4
55	5	3.4	3.3	0.0	0.0	3.4
60	5	3.4	3.4	0.0	0.0	3.4
total	60	40.4	36.1	3.9	0.5	36.6

**Tambo 4**

to (min)= 5.2

t min	$\Delta t$ min	$P_R (\Delta t)$ mmh <sup>-1</sup>	$D_{med} (\Delta t)$ mm	C ( $\Delta t$ ) mm	malla ( $\Delta t$ ) mm	$D_{total} (\Delta t)$ mm
0						
5	5	3.4	0.0	3.3	0.0	0.0
10	5	3.4	2.6	0.7	0.0	2.6
15	5	3.4	3.1	0.2	0.0	3.2
20	5	3.4	3.2	0.1	0.0	3.2
25	5	3.4	3.2	0.1	0.0	3.2
30	5	3.4	3.2	0.1	0.0	3.3
35	5	3.4	3.3	0.0	0.0	3.3
40	5	3.4	3.3	0.0	0.0	3.3
45	5	3.4	3.3	0.0	0.0	3.3
50	5	3.4	3.3	0.0	0.0	3.3
55	5	3.4	3.4	0.0	0.0	3.4
60	5	3.4	3.4	0.0	0.0	3.4
total	60	40.4	35.2	4.7	0.4	35.6

$I = 175 \text{ c min}^{-1} = 70.9 \text{ mm h}^{-1}$   
 Hojas, 5 cm

**Tambo 1**  $t_0 \text{ (min)}=2.2$

t min	$\Delta t$ min	$P_R (\Delta t)$ $\text{mmh}^{-1}$	$D_{med} (\Delta t)$ mm	C ( $\Delta t$ ) mm	malla ( $\Delta t$ ) mm	$D_{total} (\Delta t)$ mm
0						
5	5	5.9	2.3	3.0	0.6	2.9
10	5	5.9	5.7	0.1	0.1	5.8
15	5	5.9	5.9	0.0	0.0	5.9
20	5	5.9	5.8	0.0	0.0	5.9
25	5	5.9	5.8	0.0	0.0	5.9
30	5	5.9	5.9	0.0	0.0	5.9
35	5	5.9	5.9	0.0	0.0	5.9
40	5	5.9	5.9	0.0	0.0	5.9
45	5	5.9	5.9	0.0	0.0	5.9
50	5	5.9	5.9	0.0	0.0	5.9
55	5	5.9	5.9	0.0	0.0	5.9
60	5	5.9	5.9	0.0	0.0	5.9
total	60	70.8	66.9	3.0	0.9	67.7

**Tambo 3**  $t_0 \text{ (min)}= 2.7$

t min	$\Delta t$ min	$P_R (\Delta t)$ $\text{mmh}^{-1}$	$D_{med} (\Delta t)$ mm	C ( $\Delta t$ ) mm	malla ( $\Delta t$ ) mm	$D_{total} (\Delta t)$ mm
0						
5	5	5.9	1.6	3.8	0.5	2.1
10	5	5.9	5.4	0.5	0.1	5.5
15	5	5.9	5.8	0.1	0.1	5.9
20	5	5.9	5.9	0.0	0.0	5.9
25	5	5.9	5.9	0.0	0.0	5.9
30	5	5.9	5.9	0.0	0.0	5.9
35	5	5.9	5.9	0.0	0.0	6.0
40	5	5.9	5.9	0.0	0.0	5.9
45	5	5.9	5.9	0.0	0.0	6.0
50	5	5.9	5.9	0.0	0.0	5.9
55	5	5.9	5.9	0.0	0.0	5.9
60	5	5.9	5.9	0.0	0.0	5.9
total	60	71.2	65.9	4.5	0.9	66.8

**Tambo 4**

to (min)= 2.6

t min	$\Delta t$ min	$P_R (\Delta t)$ mmh <sup>-1</sup>	$D_{med} (\Delta t)$ mm	C ( $\Delta t$ ) mm	malla ( $\Delta t$ ) mm	$D_{total} (\Delta t)$ mm
0						
5	5	5.9	1.3	3.7	0.9	2.2
10	5	5.9	5.3	0.5	0.1	5.4
15	5	5.9	5.8	0.0	0.0	5.9
20	5	5.9	5.8	0.0	0.0	5.9
25	5	5.9	5.8	0.0	0.0	5.9
30	5	5.9	5.9	0.0	0.0	5.9
35	5	5.9	5.9	0.0	0.0	5.9
40	5	5.9	5.9	0.0	0.0	5.9
45	5	5.9	5.9	0.0	0.0	5.9
50	5	5.9	5.9	0.0	0.0	5.9
55	5	5.9	5.9	0.0	0.0	5.9
60	5	5.9	5.9	0.0	0.0	5.9
total	60	70.9	65.4	4.4	1.1	66.5

$I = 175 \text{ c min}^{-1} = 70.9 \text{ mm h}^{-1}$   
Hojas, 10cm

**Tambo 1**

to (min)=4

t min	$\Delta t$ min	$P_R (\Delta t)$ mmh <sup>-1</sup>	$D_{med} (\Delta t)$ mm	C ( $\Delta t$ ) mm	malla ( $\Delta t$ ) mm	$D_{total} (\Delta t)$ mm
0						
5	5	6.0	0.4	5.1	0.4	0.8
10	5	6.0	5.3	0.6	0.2	5.4
15	5	6.0	5.9	0.0	0.0	6.0
20	5	6.0	5.9	0.0	0.1	6.0
25	5	6.0	5.9	0.0	0.1	6.0
30	5	6.0	6.0	0.0	0.0	6.0
35	5	6.0	6.0	0.0	0.0	6.0
40	5	6.0	6.0	0.0	0.0	6.0
45	5	6.0	6.0	0.0	0.0	6.0
50	5	6.0	5.9	0.0	0.0	5.9
55	5	6.0	6.0	0.0	0.0	6.0
60	5	6.0	6.0	0.0	0.0	6.0
total	60	71.7	65.2	5.7	0.8	66.0

**Tambo 3**

$t_o$  (min)=3.3

t min	$\Delta t$ min	$P_R$ ( $\Delta t$ ) $mmh^{-1}$	$D_{med}$ ( $\Delta t$ ) mm	C ( $\Delta t$ ) mm	malla ( $\Delta t$ ) mm	$D_{total}$ ( $\Delta t$ ) mm
0						
5	5	5.9	1.3	4.0	0.6	1.9
10	5	5.9	5.8	0.1	0.0	5.8
15	5	5.9	5.9	0.0	0.0	5.9
20	5	5.9	5.9	0.0	0.0	5.9
25	5	5.9	5.9	0.0	0.0	5.9
30	5	5.9	5.9	0.0	0.0	5.9
35	5	5.9	5.9	0.0	0.0	5.9
40	5	5.9	5.9	0.0	0.0	5.9
45	5	5.9	5.9	0.0	0.0	5.9
50	5	5.9	5.9	0.0	0.0	5.9
55	5	5.9	5.9	0.0	0.0	5.9
60	5	5.9	5.9	0.0	0.0	5.9
total	60	71.0	66.1	4.2	0.8	66.8

**Tambo 4**

$t_o$  (min)=3.2

t min	$\Delta t$ min	$P_R$ ( $\Delta t$ ) $mmh^{-1}$	$D_{med}$ ( $\Delta t$ ) mm	C ( $\Delta t$ ) mm	malla ( $\Delta t$ ) mm	$D_{total}$ ( $\Delta t$ ) mm
0						
5	5	5.9	1.0	4.5	0.4	1.4
10	5	5.9	5.7	0.1	0.1	5.8
15	5	5.9	5.9	0.0	0.0	5.9
20	5	5.9	5.9	0.0	0.0	5.9
25	5	5.9	5.8	0.0	0.1	5.9
30	5	5.9	5.9	0.0	0.0	5.9
35	5	5.9	5.9	0.0	0.0	5.9
40	5	5.9	5.8	0.1	0.0	5.9
45	5	5.9	5.9	0.0	0.0	5.9
50	5	5.9	5.9	0.0	0.0	5.9
55	5	5.9	5.9	0.0	0.0	5.9
60	5	5.9	5.8	0.1	0.0	5.8
total	60	70.9	65.3	4.8	0.8	66.1

$I = 25 \text{ c min}^{-1} = 9.8 \text{ mm h}^{-1}$   
 Pasto, 5 cm

**Tambo 1**

$t_0 \text{ (min)} = 3.5$

t min	$\Delta t$ min	$P_R (\Delta t)$ $\text{mmh}^{-1}$	$D_{med} (\Delta t)$ mm	C ( $\Delta t$ ) mm	malla ( $\Delta t$ ) mm	$D_{total} (\Delta t)$ mm
0						
5	5	0.9	0.1	0.7	0.1	0.1
10	5	0.9	0.4	0.4	0.1	0.5
15	5	0.9	0.6	0.3	0.0	0.6
20	5	0.9	0.7	0.2	0.0	0.7
25	5	0.9	0.8	0.1	0.0	0.8
30	5	0.9	0.8	0.1	0.0	0.8
35	5	0.9	0.8	0.1	0.0	0.8
40	5	0.9	0.8	0.1	0.0	0.8
45	5	0.9	0.8	0.0	0.0	0.8
50	5	0.9	0.8	0.0	0.0	0.8
55	5	0.9	0.9	0.0	0.0	0.9
60	5	0.9	0.9	0.0	0.0	0.9
total	60	10.3	8.2	1.9	0.2	8.4

**Tambo 3**

$t_0 \text{ (min)} = 14.4$

t min	$\Delta t$ min	$P_R (\Delta t)$ $\text{mmh}^{-1}$	$D_{med} (\Delta t)$ mm	C ( $\Delta t$ ) mm	malla ( $\Delta t$ ) mm	$D_{total} (\Delta t)$ mm
0						
5	5	0.8		0.8	0.0	0.0
10	5	0.8		0.7	0.1	0.1
15	5	0.8	0.1	0.6	0.1	0.3
20	5	0.8	0.1	0.6	0.2	0.3
25	5	0.8	0.5	0.3	0.1	0.6
30	5	0.8	0.8	0.0	0.0	0.8
35	5	0.8	0.8	0.0	0.0	0.8
40	5	0.8	0.8	0.0	0.0	0.8
45	5	0.8	0.8	0.0	0.0	0.8
50	5	0.8	0.8	0.0	0.0	0.8
55	5	0.8	0.8	0.0	0.0	0.8
60	5	0.8	0.8	0.0	0.0	0.8
total	60	10.1	6.5	3.0	0.6	7.1

**Tambo 4**

$t_o$  (min)= 14.2

t min	$\Delta t$ min	$P_R (\Delta t)$ mmh <sup>-1</sup>	$D_{med} (\Delta t)$ mm	C ( $\Delta t$ ) mm	malla ( $\Delta t$ ) mm	$D_{total} (\Delta t)$ mm
0						
5	5	0.8		0.7	0.1	0.1
10	5	0.8		0.6	0.2	0.2
15	5	0.8	0.1	0.5	0.2	0.3
20	5	0.8	0.4	0.3	0.1	0.5
25	5	0.8	0.8	0.0	0.0	0.8
30	5	0.8	0.8	0.0	0.0	0.8
35	5	0.8	0.8	0.0	0.0	0.8
40	5	0.8	0.8	0.0	0.0	0.8
45	5	0.8	0.8	0.0	0.0	0.8
50	5	0.8	0.8	0.0	0.0	0.8
55	5	0.8	0.8	0.0	0.0	0.8
60	5	0.8	0.8	0.0	0.0	0.8
total	60	10.1	7.1	2.3	0.7	7.8

$I = 25 \text{ c min}^{-1} = 9.8 \text{ mm h}^{-1}$   
 Pasto, 10 cm

**Tambo 1**

$t_o$  (min)=6.8

t min	$\Delta t$ min	$P_R (\Delta t)$ mmh <sup>-1</sup>	$D_{med} (\Delta t)$ mm	C ( $\Delta t$ ) mm	malla ( $\Delta t$ ) mm	$D_{total} (\Delta t)$ mm
0						
5	5	0.8		0.8	0.1	0.1
10	5	0.8	0.2	0.6	0.1	0.2
15	5	0.8	0.7	0.1	0.0	0.7
20	5	0.8	0.8	0.0	0.0	0.8
25	5	0.8	0.8	0.0	0.0	0.8
30	5	0.8	0.8	0.0	0.0	0.8
35	5	0.8	0.8	0.0	0.0	0.8
40	5	0.8	0.8	0.0	0.0	0.8
45	5	0.8	0.8	0.0	0.0	0.8
50	5	0.8	0.8	0.0	0.0	0.8
55	5	0.8	0.8	0.0	0.0	0.8
60	5	0.8	0.8	0.0	0.0	0.8
total	60	9.8	8.0	1.6	0.2	8.2

**Tambo 3**

to (min)= 12.2

t min	$\Delta t$ min	$P_R (\Delta t)$ $\text{mmh}^{-1}$	$D_{\text{med}} (\Delta t)$ mm	$C (\Delta t)$ mm	mallá ( $\Delta t$ ) mm	$D_{\text{total}} (\Delta t)$ mm
0						
5	5	0.8		0.8	0.0	0.0
10	5	0.8		0.8	0.1	0.1
15	5	0.8	0.1	0.7	0.0	0.2
20	5	0.8	0.3	0.5	0.0	0.3
25	5	0.8	0.6	0.2	0.0	0.6
30	5	0.8	0.8	0.0	0.0	0.8
35	5	0.8	0.8	0.0	0.0	0.8
40	5	0.8	0.8	0.0	0.0	0.8
45	5	0.8	0.8	0.0	0.0	0.8
50	5	0.8	0.8	0.0	0.0	0.8
55	5	0.8	0.8	0.0	0.0	0.8
60	5	0.8	0.8	0.0	0.0	0.8
total	60	10.1	6.9	3.0	0.2	7.0

**Tambo 4**

to (min)= 10.7

t min	$\Delta t$ min	$P_R (\Delta t)$ $\text{mmh}^{-1}$	$D_{\text{med}} (\Delta t)$ mm	$C (\Delta t)$ mm	mallá ( $\Delta t$ ) mm	$D_{\text{total}} (\Delta t)$ mm
0						
5	5	0.8		0.8	0.1	0.1
10	5	0.8		0.7	0.1	0.1
15	5	0.8	0.4	0.3	0.0	0.5
20	5	0.8	0.7	0.1	0.0	0.7
25	5	0.8	0.8	0.0	0.0	0.8
30	5	0.8	0.8	0.0	0.0	0.8
35	5	0.8	0.8	0.0	0.0	0.8
40	5	0.8	0.8	0.0	0.0	0.8
45	5	0.8	0.8	0.0	0.0	0.8
50	5	0.8	0.8	0.0	0.0	0.8
55	5	0.8	0.8	0.0	0.0	0.8
60	5	0.8	0.8	0.0	0.0	0.8
total	60	10.0	7.5	2.1	0.4	7.9

$I = 75 \text{ c min}^{-1} = 30.2 \text{ mm h}^{-1}$   
 Pasto, 5 cm

**Tambo 1**

$t_0 \text{ (min)}=2$

<b>t</b> <b>min</b>	<b><math>\Delta t</math></b> <b>min</b>	<b><math>P_R (\Delta t)</math></b> <b>mmh<sup>-1</sup></b>	<b><math>D_{med} (\Delta t)</math></b> <b>mm</b>	<b>C (<math>\Delta t</math>)</b> <b>mm</b>	<b>malla (<math>\Delta t</math>)</b> <b>mm</b>	<b><math>D_{total} (\Delta t)</math></b> <b>mm</b>
0						
5	5	2.5	0.6	1.7	0.2	0.9
10	5	2.5	2.3	0.2	0.0	2.3
15	5	2.5	2.5	0.0	0.0	2.5
20	5	2.5	2.5	0.0	0.0	2.5
25	5	2.5	2.5	0.0	0.0	2.5
30	5	2.5	2.5	0.0	0.0	2.5
35	5	2.5	2.5	0.0	0.1	2.5
40	5	2.5	2.5	0.0	0.0	2.5
45	5	2.5	2.5	0.0	0.0	2.5
50	5	2.5	2.5	0.0	0.0	2.5
55	5	2.5	2.5	0.0	0.0	2.5
60	5	2.5	2.5	0.0	0.0	2.5
<b>total</b>	<b>60</b>	<b>30.3</b>	<b>27.8</b>	<b>2.0</b>	<b>0.5</b>	<b>28.3</b>

**Tambo 3**

$t_0 \text{ (min)}= 7.2$

<b>t</b> <b>min</b>	<b><math>\Delta t</math></b> <b>min</b>	<b><math>P_R (\Delta t)</math></b> <b>mmh<sup>-1</sup></b>	<b><math>D_{med} (\Delta t)</math></b> <b>mm</b>	<b>C (<math>\Delta t</math>)</b> <b>mm</b>	<b>malla (<math>\Delta t</math>)</b> <b>mm</b>	<b><math>D_{total} (\Delta t)</math></b> <b>mm</b>
0						
5	5	2.5		2.3	0.2	0.2
10	5	2.5	0.2	2.0	0.4	0.6
15	5	2.5	1.8	0.5	0.2	2.0
20	5	2.5	2.5	0.1	0.0	2.5
25	5	2.5	2.5	0.0	0.0	2.5
30	5	2.5	2.5	0.0	0.0	2.5
35	5	2.5	2.5	0.0	0.0	2.5
40	5	2.5	2.5	0.0	0.0	2.5
45	5	2.5	2.5	0.0	0.0	2.5
50	5	2.5	2.5	0.0	0.0	2.5
55	5	2.5	2.5	0.0	0.0	2.5
60	5	2.5	2.5	0.0	0.0	2.5
<b>total</b>	<b>60</b>	<b>30.4</b>	<b>24.5</b>	<b>5.1</b>	<b>0.8</b>	<b>25.3</b>

**Tambo 4**

to (min)= 2.2

t min	$\Delta t$ min	$P_R (\Delta t)$ $\text{mmh}^{-1}$	$D_{med} (\Delta t)$ mm	C ( $\Delta t$ ) mm	malla ( $\Delta t$ ) mm	$D_{total} (\Delta t)$ mm
0						
5	5	2.5	0.2	2.1	0.2	0.5
10	5	2.5	1.8	0.6	0.2	1.9
15	5	2.5	2.2	0.2	0.2	2.3
20	5	2.5	2.4	0.0	0.1	2.5
25	5	2.5	2.5	0.0	0.0	2.5
30	5	2.5	2.5	0.1	0.0	2.5
35	5	2.5	2.5	0.02	0.0	2.5
40	5	2.5	2.4	0.1	0.0	2.4
45	5	2.5	2.5	0.0	0.0	2.5
50	5	2.5	2.5	0.0	0.0	2.5
55	5	2.5	2.5	0.0	0.0	2.5
60	5	2.5	2.5	0.0	0.0	2.5
total	60	30.2	26.5	3.1	0.6	27.1

$I = 75 \text{ c min}^{-1} = 30.2 \text{ mm h}^{-1}$   
 Pasto, 10 cm

**Tambo 1**

to (min)=4.9

t min	$\Delta t$ min	$P_R (\Delta t)$ $\text{mmh}^{-1}$	$D_{med} (\Delta t)$ mm	C ( $\Delta t$ ) mm	malla ( $\Delta t$ ) mm	$D_{total} (\Delta t)$ mm
0						
5	5	2.5	0.0	2.4	0.1	0.2
10	5	2.5	1.6	0.8	0.1	1.7
15	5	2.5	2.4	0.1	0.0	2.4
20	5	2.5	2.5	0.0	0.0	2.5
25	5	2.5	2.4	0.1	0.0	2.4
30	5	2.5	2.5	0.1	0.0	2.5
35	5	2.5	2.5	0.1	0.0	2.5
40	5	2.5	2.5	0.0	0.0	2.5
45	5	2.5	2.5	0.0	0.0	2.5
50	5	2.5	2.5	0.0	0.0	2.5
55	5	2.5	2.5	0.0	0.0	2.5
60	5	2.5	2.5	0.0	0.0	2.5
total	60	30.4	26.6	3.5	0.3	26.9

**Tambo 3**

to (min)= 8.3

t min	$\Delta t$ min	$P_R (\Delta t)$ mmh <sup>-1</sup>	$D_{med} (\Delta t)$ mm	C ( $\Delta t$ ) mm	malla ( $\Delta t$ ) mm	$D_{total} (\Delta t)$ mm
0						
5	5	2.5		2.4	0.1	0.1
10	5	2.5	0.3	2.0	0.2	0.5
15	5	2.5	2.2	0.2	0.1	2.3
20	5	2.5	2.5	0.0	0.0	2.5
25	5	2.5	2.5	0.0	0.0	2.5
30	5	2.5	2.5	0.0	0.0	2.5
35	5	2.5	2.5	0.0	0.0	2.5
40	5	2.5	2.5	0.0	0.0	2.5
45	5	2.5	2.5	0.0	0.0	2.5
50	5	2.5	2.5	0.0	0.0	2.5
55	5	2.5	2.5	0.0	0.0	2.5
60	5	2.5	2.5	0.0	0.0	2.5
<b>total</b>	<b>60</b>	<b>30.2</b>	<b>25.1</b>	<b>4.7</b>	<b>0.5</b>	<b>25.6</b>

**Tambo 4**

to (min)= 9.4

t min	$\Delta t$ min	$P_R (\Delta t)$ mmh <sup>-1</sup>	$D_{med} (\Delta t)$ mm	C ( $\Delta t$ ) mm	malla ( $\Delta t$ ) mm	$D_{total} (\Delta t)$ mm
0						
5	5	2.5		2.4	0.1	0.1
10	5	2.5	0.2	2.0	0.4	0.5
15	5	2.5	2.2	0.2	0.1	2.3
20	5	2.5	2.5	0.0	0.0	2.5
25	5	2.5	2.5	0.0	0.0	2.5
30	5	2.5	2.5	0.0	0.0	2.5
35	5	2.5	2.5	0.0	0.0	2.5
40	5	2.5	2.5	0.0	0.0	2.5
45	5	2.5	2.5	0.0	0.0	2.5
50	5	2.5	2.5	0.0	0.0	2.5
55	5	2.5	2.5	0.0	0.0	2.5
60	5	2.5	2.5	0.0	0.0	2.5
<b>total</b>	<b>60</b>	<b>30.2</b>	<b>24.9</b>	<b>4.6</b>	<b>0.7</b>	<b>25.6</b>

$I = 100 \text{ c min}^{-1} = 40.4 \text{ mm h}^{-1}$   
 Pasto, 5 cm

**Tambo 1**  $t_0 \text{ (min)} = 1.1$

t min	$\Delta t$ min	$P_R (\Delta t)$ mmh <sup>-1</sup>	$D_{med} (\Delta t)$ mm	C ( $\Delta t$ ) mm	malla ( $\Delta t$ ) mm	$D_{total} (\Delta t)$ mm
0						
5	5	3.4	1.2	2.0	0.2	1.4
10	5	3.4	3.1	0.2	0.1	3.2
15	5	3.4	3.4	0.0	0.0	3.4
20	5	3.4	3.4	0.0	0.0	3.4
25	5	3.4	3.4	0.0	0.0	3.4
30	5	3.4	3.4	0.0	0.0	3.4
35	5	3.4	3.3	0.0	0.0	3.4
40	5	3.4	3.3	0.0	0.0	3.4
45	5	3.4	3.3	0.0	0.0	3.4
50	5	3.4	3.3	0.0	0.0	3.4
55	5	3.4	3.4	0.0	0.0	3.4
60	5	3.4	3.4	0.0	0.0	3.4
total	60	40.5	37.8	2.2	0.5	38.3

**Tambo 3**  $t_0 \text{ (min)} = 5.2$

t min	$\Delta t$ min	$P_R (\Delta t)$ mmh <sup>-1</sup>	$D_{med} (\Delta t)$ mm	C ( $\Delta t$ ) mm	malla ( $\Delta t$ ) mm	$D_{total} (\Delta t)$ mm
0						
5	5	3.4		3.12	0.3	0.3
10	5	3.4	1.9	1.21	0.3	2.2
15	5	3.4	3.3	0.05	0.0	3.3
20	5	3.4	3.4	0.00	0.0	3.4
25	5	3.4	3.3	0.0	0.0	3.4
30	5	3.4	3.4	0.0	0.0	3.4
35	5	3.4	3.4	0.0	0.0	3.4
40	5	3.4	3.4	0.0	0.0	3.4
45	5	3.4	3.3	0.0	0.1	3.4
50	5	3.4	3.4	0.0	0.0	3.4
55	5	3.4	3.3	0.0	0.1	3.4
60	5	3.4	3.3	0.0	0.0	3.4
total	60	40.5	35.4	4.4	0.7	36.1

**Tambo 4**

to (min)= 4.3

t min	$\Delta t$ min	$P_R (\Delta t)$ $\text{mmh}^{-1}$	$D_{\text{med}} (\Delta t)$ mm	C ( $\Delta t$ ) mm	malla ( $\Delta t$ ) mm	$D_{\text{total}} (\Delta t)$ mm
0						
5	5	3.4	0.3	2.90	0.2	0.5
10	5	3.4	3.1	0.20	0.1	3.2
15	5	3.4	3.2	0.1	0.1	3.3
20	5	3.4	3.3	0.0	0.0	3.3
25	5	3.4	3.2	0.03	0.1	3.3
30	5	3.4	3.4	0.0	0.0	3.4
35	5	3.4	3.3	0.0	0.0	3.3
40	5	3.4	3.3	0.0	0.0	3.4
45	5	3.4	3.3	0.0	0.0	3.4
50	5	3.4	3.3	0.0	0.0	3.4
55	5	3.4	3.3	0.0	0.0	3.4
60	5	3.4	3.4	0.0	0.0	3.4
<b>total</b>	<b>60</b>	<b>40.4</b>	<b>36.4</b>	<b>3.4</b>	<b>0.6</b>	<b>37.0</b>

$I = 100 \text{ c min}^{-1} = 40.4 \text{ mm h}^{-1}$   
 Pasto, 10 cm

**Tambo 1**

to (min)=3.8

t min	$\Delta t$ min	$P_R (\Delta t)$ $\text{mmh}^{-1}$	$D_{\text{med}} (\Delta t)$ mm	C ( $\Delta t$ ) mm	malla ( $\Delta t$ ) mm	$D_{\text{total}} (\Delta t)$ mm
0						
5	5	3.6	0.3	3.2	0.1	0.4
10	5	3.6	2.8	0.8	0.0	2.8
15	5	3.6	3.2	0.3	0.0	3.2
20	5	3.6	3.3	0.2	0.1	3.4
25	5	3.6	3.4	0.1	0.0	3.4
30	5	3.6	3.4	0.1	0.0	3.4
35	5	3.6	3.5	0.1	0.0	3.5
40	5	3.6	3.5	0.0	0.0	3.6
45	5	3.6	3.5	0.0	0.0	3.6
50	5	3.6	3.6	0.0	0.0	3.6
55	5	3.6	3.6	0.0	0.0	3.6
60	5	3.6	3.6	0.0	0.0	3.6
<b>total</b>	<b>60</b>	<b>42.7</b>	<b>37.6</b>	<b>4.6</b>	<b>0.4</b>	<b>38.0</b>

**Tambo 3**

to (min)= 5

t min	$\Delta t$ min	$P_R (\Delta t)$ mmh <sup>-1</sup>	$D_{med} (\Delta t)$ mm	C ( $\Delta t$ ) mm	malla ( $\Delta t$ ) mm	$D_{total} (\Delta t)$ mm
0						
5	5	3.4	0.0	3.2	0.2	0.2
10	5	3.4	1.7	1.5	0.2	1.9
15	5	3.4	3.1	0.2	0.0	3.2
20	5	3.4	3.2	0.2	0.0	3.2
25	5	3.4	3.4	0.0	0.0	3.4
30	5	3.4	3.3	0.0	0.0	3.4
35	5	3.4	3.4	0.0	0.0	3.4
40	5	3.4	3.4	0.0	0.0	3.4
45	5	3.4	3.4	0.0	0.0	3.4
50	5	3.4	3.4	0.0	0.0	3.4
55	5	3.4	3.4	0.0	0.0	3.4
60	5	3.4	3.4	0.0	0.0	3.4
total	60	40.8	35.1	5.1	0.5	35.6

**Tambo 4**

to (min)= 5.3

t min	$\Delta t$ min	$P_R (\Delta t)$ mmh <sup>-1</sup>	$D_{med} (\Delta t)$ mm	C ( $\Delta t$ ) mm	malla ( $\Delta t$ ) mm	$D_{total} (\Delta t)$ mm
0						
5	5	3.4	0.0	2.9	0.4	0.4
10	5	3.4	1.5	1.6	0.3	1.7
15	5	3.4	3.2	0.1	0.0	3.3
20	5	3.4	3.2	0.1	0.0	3.3
25	5	3.4	3.3	0.0	0.0	3.3
30	5	3.4	3.3	0.1	0.0	3.3
35	5	3.4	3.3	0.0	0.0	3.3
40	5	3.4	3.3	0.0	0.0	3.4
45	5	3.4	3.4	0.0	0.0	3.4
50	5	3.4	3.4	0.0	0.0	3.4
55	5	3.4	3.3	0.0	0.0	3.4
60	5	3.4	3.4	0.0	0.0	3.4
total	60	40.4	34.6	4.9	0.9	35.5

$I = 175 \text{ c min}^{-1} = 70.9 \text{ mm h}^{-1}$   
 Pasto, 5 cm

**Tambo 1**  $t_o (\text{min})=2.6$

<b>t</b> <b>min</b>	<b><math>\Delta t</math></b> <b>min</b>	<b><math>P_R (\Delta t)</math></b> <b><math>\text{mmh}^{-1}</math></b>	<b><math>D_{med} (\Delta t)</math></b> <b>mm</b>	<b>C (<math>\Delta t</math>)</b> <b>mm</b>	<b>malla (<math>\Delta t</math>)</b> <b>mm</b>	<b><math>D_{total} (\Delta t)</math></b> <b>mm</b>
0						
5	5	5.9	1.6	3.9	0.4	2.0
10	5	5.9	5.9	0.0	0.0	5.9
15	5	5.9	5.9	0.0	0.0	5.9
20	5	5.9	5.8	0.0	0.0	5.9
25	5	5.9	5.8	0.0	0.0	5.9
30	5	5.9	5.8	0.0	0.0	5.9
35	5	5.9	5.8	0.1	0.0	5.8
40	5	5.9	5.8	0.0	0.0	5.9
45	5	5.9	5.8	0.0	0.0	5.9
50	5	5.9	5.9	0.0	0.0	5.9
55	5	5.9	5.9	0.0	0.0	5.9
60	5	5.9	5.8	0.0	0.0	5.9
<b>total</b>	<b>60</b>	<b>70.8</b>	<b>65.9</b>	<b>4.0</b>	<b>0.9</b>	<b>66.8</b>

**Tambo 3**  $t_o (\text{min})= 3.3$

<b>t</b> <b>min</b>	<b><math>\Delta t</math></b> <b>min</b>	<b><math>P_R (\Delta t)</math></b> <b><math>\text{mmh}^{-1}</math></b>	<b><math>D_{med} (\Delta t)</math></b> <b>mm</b>	<b>C (<math>\Delta t</math>)</b> <b>mm</b>	<b>malla (<math>\Delta t</math>)</b> <b>mm</b>	<b><math>D_{total} (\Delta t)</math></b> <b>mm</b>
0						
5	5	5.9	1.0	4.5	0.5	1.5
10	5	5.9	5.8	0.2	0.0	5.8
15	5	5.9	5.7	0.1	0.1	5.8
20	5	5.9	5.7	0.2	0.1	5.8
25	5	5.9	5.8	0.1	0.1	5.8
30	5	5.9	5.9	0.0	0.0	5.9
35	5	5.9	5.9	0.0	0.0	5.9
40	5	5.9	5.9	0.0	0.0	5.9
45	5	5.9	5.9	0.0	0.0	5.9
50	5	5.9	5.9	0.0	0.0	5.9
55	5	5.9	5.9	0.0	0.0	5.9
60	5	5.9	5.9	0.0	0.0	5.9
<b>total</b>	<b>60</b>	<b>71.2</b>	<b>65.2</b>	<b>5.1</b>	<b>0.9</b>	<b>66.1</b>

Tambo 4

 $t_0$  (min)= 4

t min	$\Delta t$ min	$P_R$ ( $\Delta t$ ) $\text{mmh}^{-1}$	$D_{\text{med}}$ ( $\Delta t$ ) mm	C ( $\Delta t$ ) mm	malla ( $\Delta t$ ) mm	$D_{\text{total}}$ ( $\Delta t$ ) mm
0						
5	5	5.9	0.6	4.4	0.9	1.5
10	5	5.9	5.5	0.4	0.0	5.5
15	5	5.9	5.8	0.1	0.0	5.8
20	5	5.9	5.8	0.0	0.0	5.9
25	5	5.9	5.9	0.0	0.0	5.9
30	5	5.9	5.9	0.0	0.0	5.9
35	5	5.9	5.8	0.0	0.0	5.9
40	5	5.9	5.8	0.1	0.0	5.9
45	5	5.9	5.8	0.1	0.0	5.9
50	5	5.9	5.9	0.0	0.0	5.9
55	5	5.9	5.9	0.0	0.0	5.9
60	5	5.9	5.9	0.0	0.0	5.9
total	60	70.9	64.5	5.1	1.2	65.7

$I = 175 \text{ c min}^{-1} = 70.9 \text{ mm h}^{-1}$   
 Pasto, 10 cm

Tambo 1

 $t_0$  (min)=3.9

t min	$\Delta t$ min	$P_R$ ( $\Delta t$ ) $\text{mmh}^{-1}$	$D_{\text{med}}$ ( $\Delta t$ ) mm	C ( $\Delta t$ ) mm	malla ( $\Delta t$ ) mm	$D_{\text{total}}$ ( $\Delta t$ ) mm
0						
5	5	5.9	0.0	5.2	0.8	0.8
10	5	5.9	5.1	0.7	0.1	5.3
15	5	5.9	5.7	0.1	0.1	5.8
20	5	5.9	5.8	0.1	0.1	5.9
25	5	5.9	5.9	0.0	0.0	5.9
30	5	5.9	5.9	0.0	0.0	6.0
35	5	5.9	5.9	0.1	0.0	5.9
40	5	5.9	5.9	0.0	0.0	5.9
45	5	5.9	5.9	0.1	0.0	5.9
50	5	5.9	5.9	0.0	0.0	5.9
55	5	5.9	5.9	0.0	0.0	5.9
60	5	5.9	5.9	0.0	0.0	5.9
total	60	71.3	64.0	6.2	1.1	65.1

**Tambo 3**

to (min)=4

t min	$\Delta t$ min	$P_R (\Delta t)$ $\text{mmh}^{-1}$	$D_{\text{med}} (\Delta t)$ mm	C ( $\Delta t$ ) mm	mallá ( $\Delta t$ ) mm	$D_{\text{total}} (\Delta t)$ mm
0						
5	5	5.9	0.3	5.1	0.5	0.9
10	5	5.9	5.2	0.4	0.3	5.5
15	5	5.9	5.9	0.0	0.0	5.9
20	5	5.9	5.8	0.1	0.0	5.8
25	5	5.9	5.9	0.0	0.0	5.9
30	5	5.9	5.9	0.0	0.0	5.9
35	5	5.9	5.9	0.0	0.0	5.9
40	5	5.9	5.8	0.1	0.0	5.8
45	5	5.9	5.9	0.0	0.0	5.9
50	5	5.9	5.9	0.0	0.0	5.9
55	5	5.9	5.9	0.0	0.0	5.9
60	5	5.9	5.9	0.0	0.0	5.9
total	60	70.9	64.5	5.6	0.8	65.3

**Tambo 4**

to (min)=3.8

t min	$\Delta t$ min	$P_R (\Delta t)$ $\text{mmh}^{-1}$	$D_{\text{med}} (\Delta t)$ mm	C ( $\Delta t$ ) mm	mallá ( $\Delta t$ ) mm	$D_{\text{total}} (\Delta t)$ mm
0						
5	5	5.9	0.4	4.9	0.7	1.1
10	5	5.9	5.0	0.9	0.0	5.0
15	5	5.9	5.8	0.1	0.0	5.8
20	5	5.9	5.8	0.1	0.0	5.8
25	5	5.9	5.8	0.1	0.0	5.8
30	5	5.9	5.9	0.0	0.0	5.9
35	5	5.9	5.9	0.0	0.0	5.9
40	5	5.9	5.8	0.1	0.0	5.8
45	5	5.9	5.9	0.1	0.0	5.9
50	5	5.9	5.9	0.0	0.0	5.9
55	5	5.9	5.9	0.0	0.0	5.9
60	5	5.9	5.9	0.0	0.0	5.9
total	60	71.1	63.8	6.4	0.8	64.7

**Anexo 4. Codificación del programa de cómputo realizado en lenguaje Fortran para calcular la capacidad de intercepción de un lecho.**

**“CODIFICACIÓN DEL PROGRAMA PARA CALCULAR LA CAPACIDAD DE INTERCEPCIÓN DE UN LECHO O MULCH”**

```
! PUERTO.f90
!
! FUNCTIONS:
!     PUERTO   - Entry point of console application.
!
!*****
! PROGRAM: PUERTO
!
! PURPOSE: Entry point for the console application.
!*****
!
!     program PUERTO
!
!     implicit none
!
!     ! Variables
!
!     integer :: i,j, k,l,m
!     real ::
EV,x,dt,t,tf,boum,D,Tmax,Tmin,RH,Rn,ET,G,s,pluie,b,coeffdr,C,G1,G2,Dr,smin,Tm,lambda,P,ea,delta,nu,T
v,ed,ETrad
!
!     integer, parameter :: numfich=1
!     character (len=12) :: nomfich
!     print *, '- nom du fichier a creer'
!     read *, nomfich
!
!     open (unit=numfich, file=nomfich, form='formatted', status='new')
!
! Body of PUERTO
!
! pasio de tiempo de la simulacion
!     dt=0.001
```

```

! print *, 'que es la capacidad minimum del mulch smin [mm]?'
! read *, smin
! print *, "
smin=0.1

print *, 'que es la capacidad maximum del mulch s [mm]?'
read *, s
print *, "

print *, 'que es el coeff de percolation del mulch b [1/mm]?'
read *, b

    print *, 'que son el coeff de drainage del mulch coeffdr [mm/sec]?'
    read *, coeffdr
!*****
! coeff k a ajustar!!!
!*****
    coeffdr=coeffdr*dt

print *, "
print *, 'que es la intensidad de la lluvia [mm/h]?'
read *, pluie
    pluie=pluie/(60*60)*dt
print *, "

j=1
    i=1
    t=dt

! print *, 'que es la duracion de la lluvia (en sec)?'
! read *, tf
! ici toutes les experiences ont ete realisees avec une pluie qui dure 60min
tf=60*60

! initialisation de C
! print *, 'que es la valor initial de C ?'
! read *, C
C=0.0

!initialisation de Dr drainage cumulee, D non cumulee, EV evapotranspiratin
Dr=0.0
D=0.0
    EV=0.0

    do while (C<smin)
        if (i<1000) then

```

```

|***** calcul ET potentielle *****
!print *, 'dame la temperatura maxima [C]'
!read *, Tmax
! print *, 'dame la temperatura minima [C]'
! read *, Tmin
Tmax=25.
Tmin=Tmax
!print *, 'dame la humedad relativo [%]'
!read *, RH
RH=50.
!print *, 'dame la ray net [W.m-2]'
!read *, Rn
Rn=100.
Rn=Rn*0.0864 ! [MJ.m-2.d-1]
!print *, 'dame soil flux net [W.m-2]'
!read *, G1,G2
!G=G1+G2
!G=G*0.0864 ! [MJ.m-2.d-1]
G=0.
!def de la temp moyenne en C
Tm=(Tmax+Tmin)/2

!def saturation vapour pressure avec T en C
!ea=0.61078*exp((17.27*T)/(T+237.3))

!mean air pressure
!altitude de 1860metres
! P=101.3*((293.16-0.0065*1860)/293.16)**(9.8/(0.0065*287))
P=600.

!latent heat of evapourisation
lambda=2.501-0.002361*Tm

!mean saturation vapour pressure
ea=(0.61078*exp((17.27*Tmax)/(Tmax+237.3))+0.61078*exp((17.27*Tmin)/(Tmin+237.3)))/2
!slope of vapour pressure curve
delta=(4098*ea)/((Tm+237.3)**2)
!psychrometric constant
nu=1.013*P/(0.622*1e3*lambda)
!actual vapour pressure
ed=RH*ea/100

!def ETrad
ETrad=delta*(Rn-G)/((delta+nu)*lambda)

ET=ETrad

! print *, "
! print *, 'ET=',ET,' mm.d-1'
ET=ET/(24*60*60)*dt

```

```
!***** fin calcul ET *****
```

```
C=C+pluie-C*ET/s
```

```
EV=EV+C*ET/s
```

```
i=i+1  
t=t+dt
```

```
else
```

```
!***** calcul ET potentielle *****
```

```
!print *,'dame la temperatura maxima [C]'
```

```
!read *, Tmax
```

```
! print *,'dame la temperatura minima [C]'
```

```
! read *, Tmin
```

```
Tmax=25.
```

```
Tmin=Tmax
```

```
!print *,'dame la humedad relativo [%]'
```

```
!read *, RH
```

```
RH=50.
```

```
!print *,'dame la ray net [W.m-2]'
```

```
!read *, Rn
```

```
Rn=100.
```

```
Rn=Rn*0.0864 ! [MJ.m-2.d-1]
```

```
!print *,'dame soil flux net [W.m-2]'
```

```
!read *, G1,G2
```

```
!G=G1+G2
```

```
!G=G*0.0864 ! [MJ.m-2.d-1]
```

```
G=0.
```

```
!def de la temp moyenne en C
```

```
Tm=(Tmax+Tmin)/2
```

```
!def saturation vapour pressure avec T en C
```

```
!ea=0.61078*exp((17.27*T)/(T+237.3))
```

```
!mean air pressure
```

```
!altitude de 1860metres
```

```
! P=101.3*((293.16-0.0065*1860)/293.16)**(9.8/(0.0065*287))
```

```
P=600.
```

```
!!latent heat of evapourisation
```

```
lambda=2.501-0.002361*Tm
```

```
!mean saturation vapour pressure
```

```
ea=(0.61078*exp((17.27*Tmax)/(Tmax+237.3))+0.61078*exp((17.27*Tmin)/(Tmin+237.3)))/2
```

```
!slope of vapour pressure curve
```

```
delta=(4098*ea)/((Tm+237.3)**2)
```

```
!psychrometric constant
```

```
nu=1.013*P/(0.622*1e3*lambda)
```

```
!actual vapour pressure
```

```
ed=RH*ea/100
```

```

!def ETrad
  ETrad=delta*(Rn-G)/((delta+nu)*lambda)

  ET=ETrad

! print *, "
! print *, 'ET=', ET, ' mm.d-1'
  ET=ET/(24*60*60)*dt

!***** fin calcul ET potentielle *****

  C=C+pluie-C*ET/s

  EV=EV+C*ET/s

  write (numfich, '(f8.2,f8.2,f8.2,f8.2)') C,Dr,D,EV

  EV=0.

  i=1
  t=t+dt

  end if

j=j+1

  end do

m=t/60
print *, 'principio del drenaje '
read *, boum

  do while (t<tf)

if (i<1000) then

!***** calcul ET potentielle *****
!print *, 'dame la temperatura maxima [C]'
!read *, Tmax
! print *, 'dame la temperatura minima [C]'
! read *, Tmin
Tmax=25.
Tmin=Tmax
!print *, 'dame la humedad relativo [%]'
!read *, RH
  RH=50.
!print *, 'dame la ray net [W.m-2]'
!read *, Rn
  Rn=100.

```

```

Rn=Rn*0.0864 ! [MJ.m-2.d-1]
!print *, 'dame soil flux net [W.m-2] '
!read *, G1,G2
!G=G1+G2
!G=G*0.0864 ! [MJ.m-2.d-1]
G=0.
!def de la temp moyenne en C
Tm=(Tmax+Tmin)/2

!def saturation vapour pressure avec T en C
!ea=0.61078*exp((17.27*T)/(T+237.3))

!mean air pressure
!altitude de 1860metres
! P=101.3*((293.16-0.0065*1860)/293.16)**(9.8/(0.0065*287))
P=600.

!!latent heat of evapourisation
lambda=2.501-0.002361*Tm

!mean saturation vapour pressure
ea=(0.61078*exp((17.27*Tmax)/(Tmax+237.3))+0.61078*exp((17.27*Tmin)/(Tmin+237.3)))/2
!slope of vapour pressure curve
delta=(4098*ea)/((Tm+237.3)**2)
!psychrometric constant
nu=1.013*P/(0.622*1e3*lambda)
!actual vapour pressure
ed=RH*ea/100

!def ETrad
ETrad=delta*(Rn-G)/((delta+nu)*lambda)

ET=ETrad

! print *, "
! print *, 'ET=',ET, ' mm.d-1'
ET=ET/(24*60*60)*dt

!***** fin calcul ET potentielle *****

C=C+pluie-coeffdr*exp(b*C)-C*ET/s

D=D+coeffdr*exp(b*C)
EV=EV+C*ET/s

i=i+1
t=t+dt

else

```

```

***** calcul ET potentielle *****
!print *, 'dame la temperatura maxima [C]'
!read *, Tmax
! print *, 'dame la temperatura minima [C]'
! read *, Tmin
Tmax=25.
Tmin=Tmax
!print *, 'dame la humedad relativo [%]'
!read *, RH
RH=50.
!print *, 'dame la ray net [W.m-2]'
!read *, Rn
Rn=100.
Rn=Rn*0.0864 ! [MJ.m-2.d-1]
!print *, 'dame soil flux net [W.m-2]'
!read *, G1,G2
!G=G1+G2
!G=G*0.0864 ! [MJ.m-2.d-1]
G=0.
!def de la temp moyenne en C
Tm=(Tmax+Tmin)/2

!def saturation vapour pressure avec T en C
!ea=0.61078*exp((17.27*T)/(T+237.3))

!mean air pressure
!altitude de 1860metres
! P=101.3*((293.16-0.0065*1860)/293.16)**(9.8/(0.0065*287))
P=600.

!latent heat of evapourisation
lambda=2.501-0.002361*Tm

!mean saturation vapour pressure
ea=(0.61078*exp((17.27*Tmax)/(Tmax+237.3))+0.61078*exp((17.27*Tmin)/(Tmin+237.3)))/2
!slope of vapour pressure curve
delta=(4098*ea)/((Tm+237.3)**2)
!psychrometric constant
nu=1.013*P/(0.622*1e3*lambda)
!actual vapour pressure
ed=RH*ea/100

!def ETrad
ETrad=delta*(Rn-G)/((delta+nu)*lambda)

ET=ETrad

! print *, "
! print *, 'ET=',ET,' mm.d-1'
ET=ET/(24*60*60)*dt

```

```
!***** fin calcul ET potentielle *****
```

```
    C=C+pluie-coeffdr*exp(b*C)-C*ET/s
```

```
    D=D+coeffdr*exp(b*C)
    EV=EV+C*ET/s
```

```
    write (numfich, '(f8.2,f8.2,f8.2,f8.2)') C,Dr,D,EV
```

```
    D=0.
    EV=0.
```

```
    i=1
    t=t+dt
```

```
end if
```

```
    j=j+1
    Dr=Dr+coeffdr*exp(b*C)
```

```
end do
```

```
D=coeffdr*exp(b*C)
```

```
!*****
```

```
!   fin de la pluie
```

```
!*****
```

```
    print *, 'C=', C
    print *, 'Drainage=', D
    print *, 'Evapotranspiration=', EV
print *, 'Pluie=', pluie
    print *, 'fin de la lluvia'
    read *, boum
    x=0.002/60*dt
    do while (D>x)
```

```
if (i<1000) then
```

```
!***** calcul ET potentielle *****
```

```
!print *, 'dame la temperatura maxima [C]'
!read *, Tmax
```

```
!   print *, 'dame la temperatura minima [C]'
!   read *, Tmin
```

```
Tmax=25.
```

```
Tmin=Tmax
```

```
!print *, 'dame la humedad relativo [%]'
```

```
!read *, RH
```

```
    RH=50.
```

```
!print *, 'dame la ray net [W.m-2]'
```

```

!read *, Rn
  Rn=100.
  Rn=Rn*0.0864 ! [MJ.m-2.d-1]
  !print *, 'dame soil flux net [W.m-2] '
!read *, G1,G2
  !G=G1+G2
  !G=G*0.0864 ! [MJ.m-2.d-1]
  G=0.
  !def de la temp moyenne en C
  Tm=(Tmax+Tmin)/2

!def saturation vapeur pressure avec T en C
!ea=0.61078*exp((17.27*T)/(T+237.3))

!mean air pressure
!altitude de 1860metres
! P=101.3*((293.16-0.0065*1860)/293.16)**(9.8/(0.0065*287))
  P=600.

!!latent heat of evapourisation
  lambda=2.501-0.002361*Tm

!mean saturation vapour pressure
  ea=(0.61078*exp((17.27*Tmax)/(Tmax+237.3))+0.61078*exp((17.27*Tmin)/(Tmin+237.3)))/2
!slope of vapour pressure curve
  delta=(4098*ea)/((Tm+237.3)**2)
!psychrometric constant
  nu=1.013*P/(0.622*1e3*lambda)
!actual vapour pressure
  ed=RH*ea/100

!def ETrad
  ETrad=delta*(Rn-G)/((delta+nu)*lambda)

  ET=ETrad

! print *, "
! print *, 'ET=',ET, ' mm.d-1'
  ET=ET/(24*60*60)*dt

!***** fin calcul ET potentielle *****

C=C-coeffdr*exp(b*C)-C*ET/s

  i=i+1
  t=t+dt
  D=coeffdr*exp(b*C)

```

```

else

!***** calcul ET potentielle *****
!print *, 'dame la temperatura maxima [C]'
!read *, Tmax
! print *, 'dame la temperatura minima [C]'
! read *, Tmin
Tmax=25.
Tmin=Tmax
!print *, 'dame la humedad relativo [%]'
!read *, RH
RH=50.
!print *, 'dame la ray net [W.m-2]'
!read *, Rn
Rn=100.
Rn=Rn*0.0864 ! [MJ.m-2.d-1]
!print *, 'dame soil flux net [W.m-2]'
!read *, G1,G2
!G=G1+G2
!G=G*0.0864 ! [MJ.m-2.d-1]
G=0.
!def de la temp moyenne en C
Tm=(Tmax+Tmin)/2

!def saturation vapour pressure avec T en C
!ea=0.61078*exp((17.27*T)/(T+237.3))

!mean air pressure
!altitude de 1860metres
! P=101.3*((293.16-0.0065*1860)/293.16)**(9.8/(0.0065*287))
P=600.

!latent heat of evapourisation
lambda=2.501-0.002361*Tm

!mean saturation vapour pressure
ea=(0.61078*exp((17.27*Tmax)/(Tmax+237.3))+0.61078*exp((17.27*Tmin)/(Tmin+237.3)))/2
!slope of vapour pressure curve
delta=(4098*ea)/((Tm+237.3)**2)
!psychrometric constant
nu=1.013*P/(0.622*1e3*lambda)
!actual vapour pressure
ed=RH*ea/100

!def ETrad
ETrad=delta*(Rn-G)/((delta+nu)*lambda)

ET=ETrad

! print *, "
! print *, 'ET=',ET,' mm.d-1'

```

```
ET=ET/(24*60*60)*dt
```

```
!***** fin calcul ET potentielle *****
```

```
C=C-coeffdr*exp(b*C)-C*ET/s
```

```
write (numfich, '(f8.2,f8.2)') C,Dr
```

```
i=i+1
```

```
t=t+dt
```

```
D=coeffdr*exp(b*C)
```

```
end if
```

```
j=j+1
```

```
Dr=Dr+coeffdr*exp(b*C)
```

```
end do
```

```
m=t/60
```

```
print *, 'la derniere iteration a lieu a i= ',j,'o t=',t,'sec o t=',m,'min'
```

```
read *,boum
```

```
print *, '-- fin creation fichier'
```

```
close (numfich)
```

```
end program PUERTO
```

Anexo 5. Curvas de la capacidad de intercepción acumulada en el tiempo para las intensidades de precipitación de 30.2 y 40.4 mm h<sup>-1</sup>.

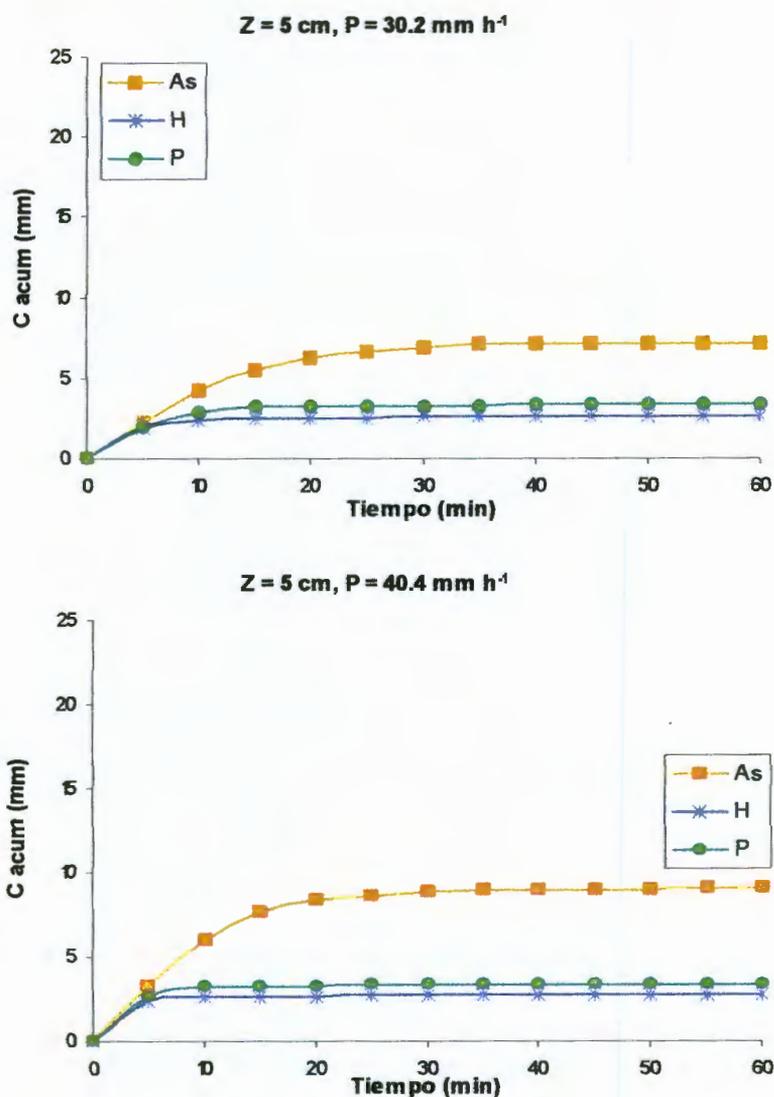


Figura A1 Capacidad de intercepción acumulada para una precipitación de 30.2 mm h<sup>-1</sup> mm h<sup>-1</sup> y 40.4 mm h<sup>-1</sup>, para un espesor de lecho Z=5 cm.

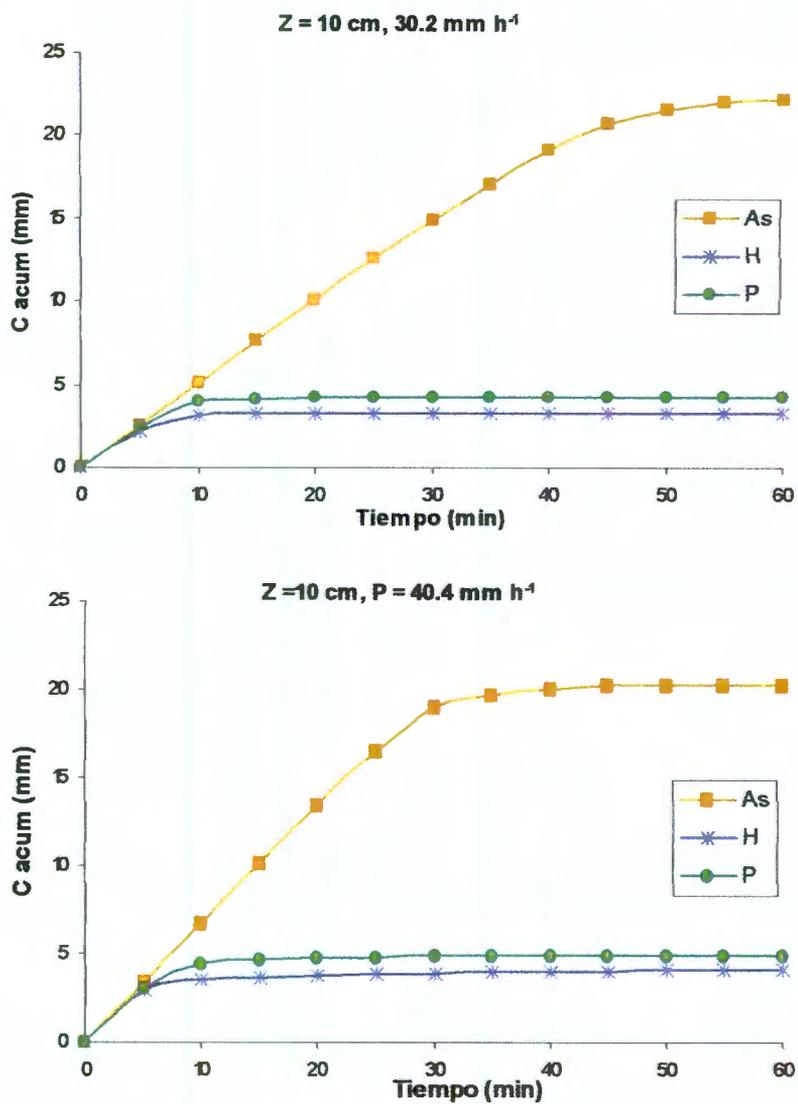


Figura A2 Capacidad de interceptación acumulada para una precipitación de 30.2 mm h<sup>-1</sup> mm h<sup>-1</sup> y 40.4 mm h<sup>-1</sup>, para un espesor de lecho Z=10 cm.

## Anexo 6. Análisis de varianza modelado en el programa de cómputo SAS.

```
data humedad;
input rep trat $ cm $ prec $ mm;
datalines;
```

obs	trat	Z (cm)	precip	S (mm)
1	as	5	30	4.4
2	as	5	40	6.7
3	as	5	70	11
4	as	5	30	8.8
5	as	5	40	10.6
6	as	5	70	10.2
7	as	5	30	8.2
8	as	5	40	9.8
9	as	5	70	11.4
10	as	10	30	18.4
11	as	10	40	17.7
12	as	10	70	26.7
13	as	10	30	23.7
14	as	10	40	21.4
15	as	10	70	24
16	as	10	30	24.3
17	as	10	40	21.6
18	as	10	70	27.6
19	h	5	30	1.9
20	h	5	40	2.4
21	h	5	70	3
22	h	5	30	2.6
23	h	5	40	2.6
24	h	5	70	4.5
25	h	5	30	3.2
26	h	5	40	3.2
27	h	5	70	4.4
28	h	10	30	2.5
29	h	10	40	3.6
30	h	10	70	5.7
31	h	10	30	3.5
32	h	10	40	3.9
33	h	10	70	4.2
34	h	10	30	3.9
35	h	10	40	4.7
36	h	10	70	4.8
37	p	5	30	2
38	p	5	40	2.2
39	p	5	70	4
40	p	5	30	5.1
41	p	5	40	4.4
42	p	5	70	5.1
43	p	5	30	3.1
44	p	5	40	3.4
45	p	5	70	5.1
46	p	10	30	3.5
47	p	10	40	4.6

48	p	10	70	6.2
49	p	10	30	4.7
50	p	10	40	5.1
51	p	10	70	5.6
52	p	10	30	4.6
54	p	10	70	6.4

```

run;
proc print data=humedad; run;
proc means data=humedad n std min max cv; var mm; title 'media general';
run;
proc means data=humedad n std min max cv; by trat; var mm;
title 'medias por tratamiento'; run;
proc sort data=humedad; by cm; run;
proc means data=humedad n std min max cv; by cm; var mm; title 'medias
por cm'; run;
proc sort data=humedad; by prec; run;
proc means data=humedad n std min max cv; by prec; var mm;
title 'medias por precipitación'; run;
proc glm data=humedad; title'análisis de varianza';
class trat cm prec;
model mm=trat cm prec /ssl;
lsmeans trat cm prec /pdiff;
run;

```

The SAS System 23:19 Thursday, May 1, 2003 1

Obs	rep	trat	cm	prec	mm
1	1	as	5	30	4.4
2	2	as	5	40	6.7
3	3	as	5	70	11.0
4	4	as	5	30	8.8
5	5	as	5	40	10.6
6	6	as	5	70	10.2
7	7	as	5	30	8.2
8	8	as	5	40	9.8
9	9	as	5	70	11.4
10	1	as	10	30	18.4
11	2	as	10	40	17.7
12	3	as	10	70	26.7
13	4	as	10	30	23.7
14	5	as	10	40	21.4
15	6	as	10	70	24.0
16	7	as	10	30	24.3
17	8	as	10	40	21.6
18	9	as	10	70	27.6
19	1	h	5	30	1.9
20	2	h	5	40	2.4
21	3	h	5	70	3.0
22	4	h	5	30	2.6
23	5	h	5	40	2.6
24	6	h	5	70	4.5
25	7	h	5	30	3.2
26	8	h	5	40	3.2
27	9	h	5	70	4.4
28	1	h	10	30	2.5
29	2	h	10	40	3.6
30	3	h	10	70	5.7
31	4	h	10	30	3.5
32	5	h	10	40	3.9

33	6	h	10	70	4.2
34	7	h	10	30	3.9
35	8	h	10	40	4.7
36	9	h	10	70	4.8
37	1	p	5	30	2.0
38	2	p	5	40	2.2
39	3	p	5	70	4.0
40	4	p	5	30	5.1
41	5	p	5	40	4.4
42	6	p	5	70	5.1
43	7	p	5	30	3.1
44	8	p	5	40	3.4
45	9	p	5	70	5.1
46	1	p	10	30	3.5
47	2	p	10	40	4.6
48	3	p	10	70	6.2
49	4	p	10	30	4.7
50	5	p	10	40	5.1

The SAS System

23:19 Thursday, May 1,

2003 2

Obs	rep	trat	cm	prec	mm
51	6	p	10	70	5.6
52	7	p	10	30	4.6
53	8	p	10	40	4.9
54	9	p	10	70	6.4

The MEANS Procedure

Analysis Variable : mm

N	Std Dev	Minimum	Maximum	Coeff of Variation
54	7.1899760	1.9000000	27.6000000	90.0623297

----- trat=as -----  
-----

The MEANS Procedure

Analysis Variable : mm

N	Std Dev	Minimum	Maximum	Coeff of Variation
18	7.6366184	4.4000000	27.6000000	47.9787546

----- trat=h -----  
-----

Analysis Variable : mm

N	Std Dev	Minimum	Maximum	Coeff of Variation
18	1.0081368	1.9000000	5.7000000	28.0904999

----- trat=p -----  
-----

Analysis Variable : mm

N	Std Dev	Minimum	Maximum	Coeff of Variation
18	1.2195574	2.0000000	6.4000000	27.4400416

----- cm=10 -----  
-----

The MEANS Procedure

Analysis Variable : mm

N	Std Dev	Minimum	Maximum	Coeff of Variation
27	9.000965	2.500000	27.600000	84.4345402

----- cm=5 -----  
-----

Analysis Variable : mm

N	Std Dev	Minimum	Maximum	Coeff of Variation
27	3.0831959	1.900000	11.400000	58.0923160

----- prec=30 -----  
-----

The MEANS Procedure

Analysis Variable : mm

N	Std Dev	Minimum	Maximum	Coeff of Variation
18	7.2286196	1.9000000	24.3000000	101.3357886

----- prec=40 -----  
-----

Analysis Variable : mm

N	Std Dev	Minimum	Maximum	Coeff of Variation
18	6.3768474	2.2000000	21.6000000	86.4331728

----- prec=70 -----  
-----

Analysis Variable : mm

N	Std Dev	Minimum	Maximum	Coeff of Variation
18	8.0532886	3.0000000	27.6000000	85.3203032

The GLM Procedure

Class Level Information

Class	Levels	Values
trat	3	as h p
cm	2	10 5
prec	3	30 40 70

Number of observations 54

2003 8

análisis de varianza

23:19 Thursday, May 1,

The GLM Procedure

Dependent Variable: mm

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	5	2150.320185	430.064037	35.01	<.0001
Error	48	589.554815	12.282392		
Corrected Total	53	2739.875000			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	mm Mean
0.784824	43.89926	3.504624	7.983333

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
trat	2	1705.907778	852.953889	69.45	<.0001
cm	1	386.671296	386.671296	31.48	<.0001
prec	2	57.741111	28.870556	2.35	0.1062

The GLM Procedure  
Least Squares Means

trat	mm LSMEAN	LSMEAN Number
as	15.9166667	1
h	3.5888889	2
p	4.4444444	3

Least Squares Means for effect trat  
Pr > |t| for H0: LSMean(i)=LSMean(j)

Dependent Variable: mm

i/j	1	2	3
1		<.0001	<.0001
2	<.0001		0.4675
3	<.0001	0.4675	

NOTE: To ensure overall protection level, only probabilities associated with pre-planned comparisons should be used.

cm	mm LSMEAN	H0:LSMean1= LSMean2 Pr >  t
10	10.6592593	<.0001
5	5.3074074	

prec	mm LSMEAN	LSMEAN Number
30	7.13333333	1
40	7.37777778	2
70	9.43888889	3

The GLM Procedure  
Least Squares Means

Least Squares Means for effect prec  
Pr > |t| for H0: LSMean(i)=LSMean(j)

Dependent Variable: mm

i/j	1	2	3
1		0.8351	0.0542
2	0.8351		0.0840
3	0.0542	0.0840	

NOTE: To ensure overall protection level, only probabilities associated with pre-planned comparisons should be used.

Anexo 7. Curvas de la evolución de la capacidad de intercepción en la tormenta.

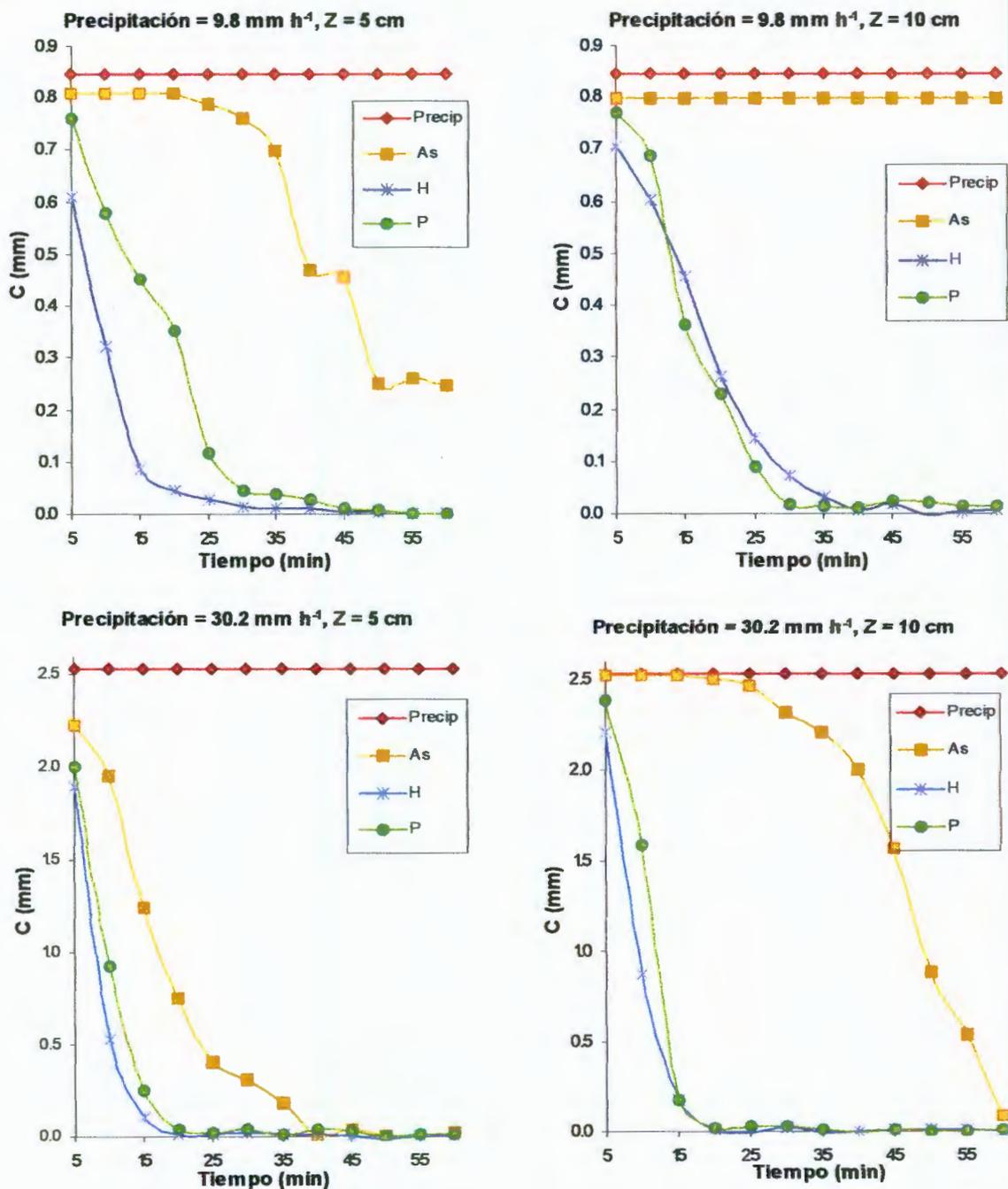
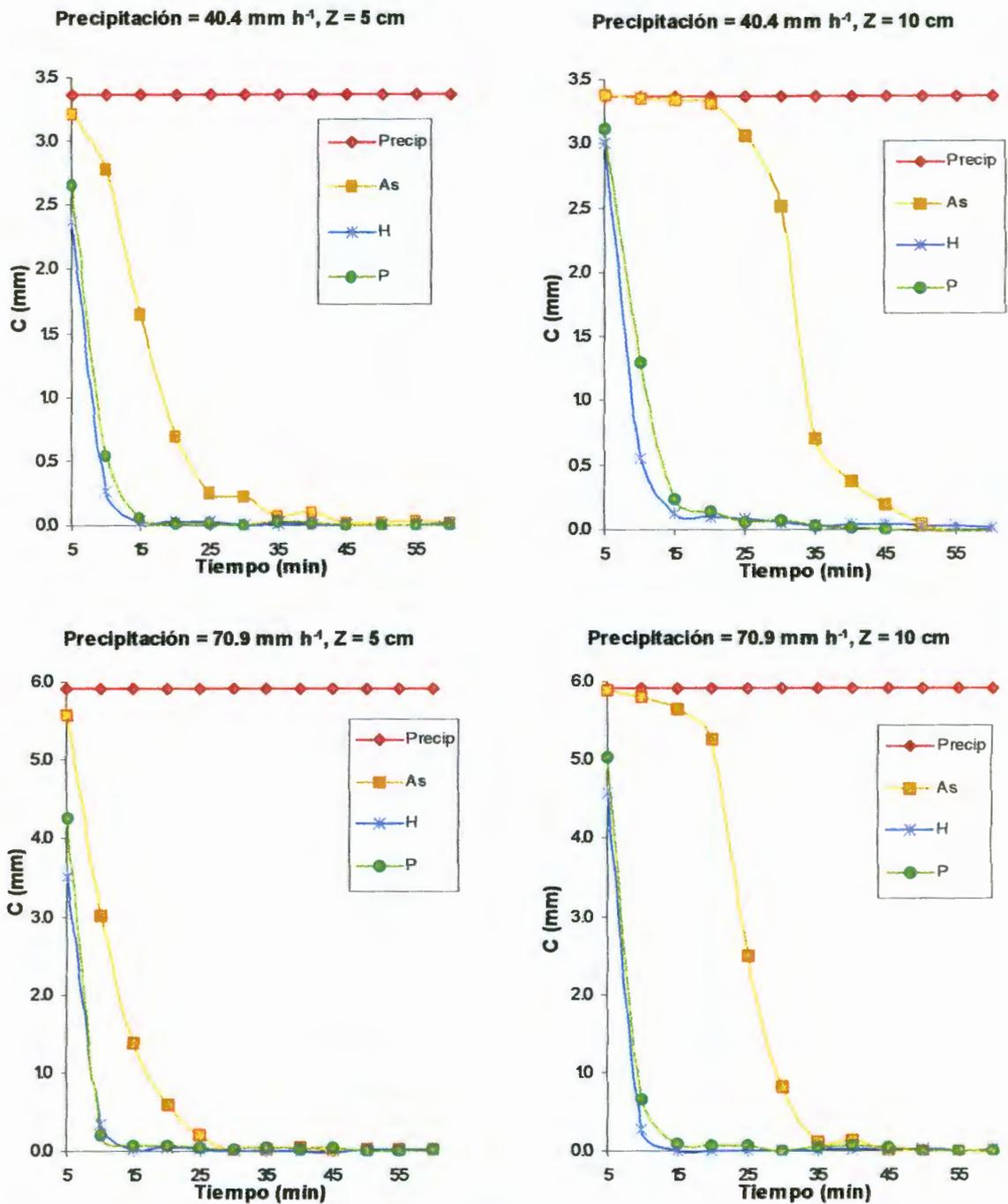


Figura A3 Comportamiento de la capacidad de intercepción de lluvia ( $C$ ) cada 5 min durante 1 h de simulación, para precipitaciones (Precip) de  $9.8 \text{ mm h}^{-1}$  y  $30.2 \text{ mm h}^{-1}$ , con dos variaciones de espesor de lecho ( $Z=5 \text{ cm}$  y  $Z=10 \text{ cm}$ ) y para cada material: aserrín (As), hojas (H) y pasto (P).



**Figura A4** Comportamiento de la capacidad de interceptación de lluvia (C) cada 5 min durante 1 h de simulación, para precipitaciones (Precip) de 40.4 mm h<sup>-1</sup> y 70.9 mm h<sup>-1</sup>, con dos variaciones de espesor de lecho (Z=5 cm y Z=10 cm) y para cada material: aserrín (As), hojas (H) y pasto (P).

Anexo 8. Curvas de la evolución del drenaje en la tormenta.

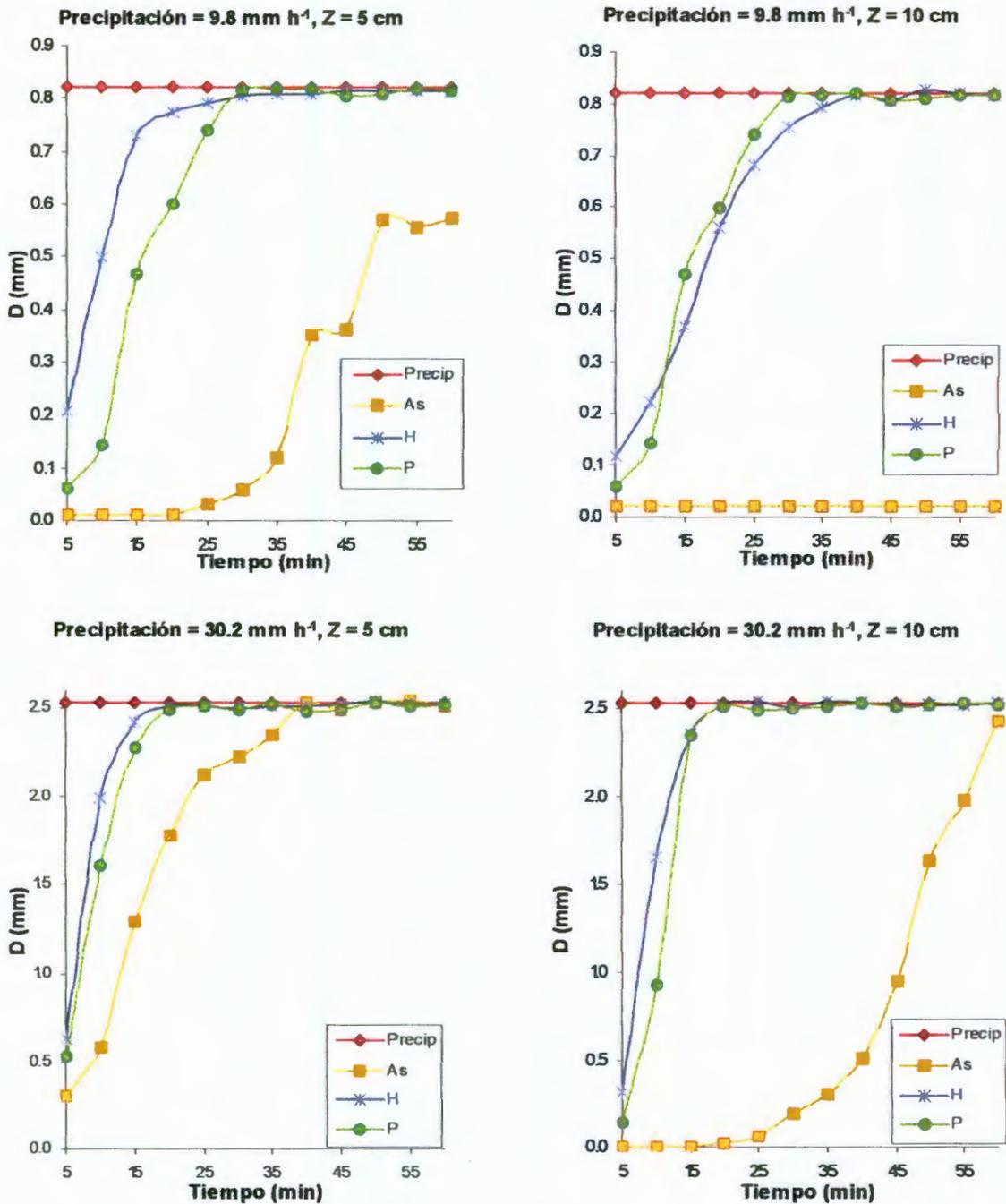
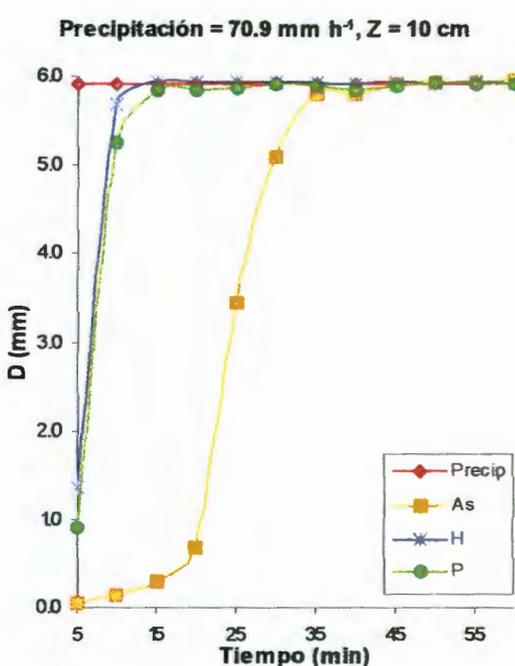
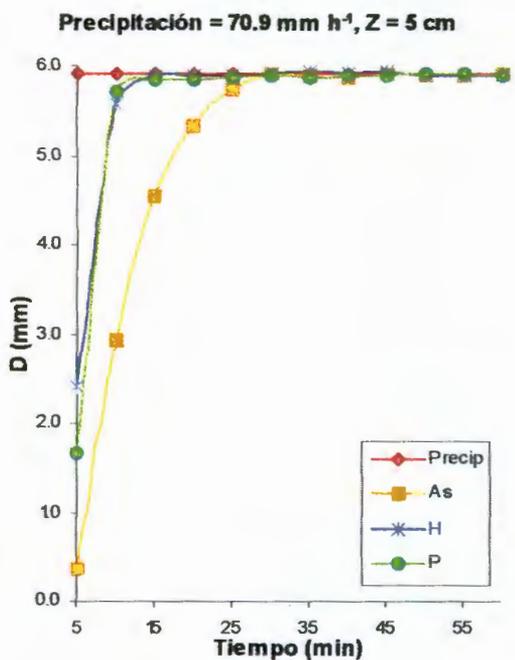
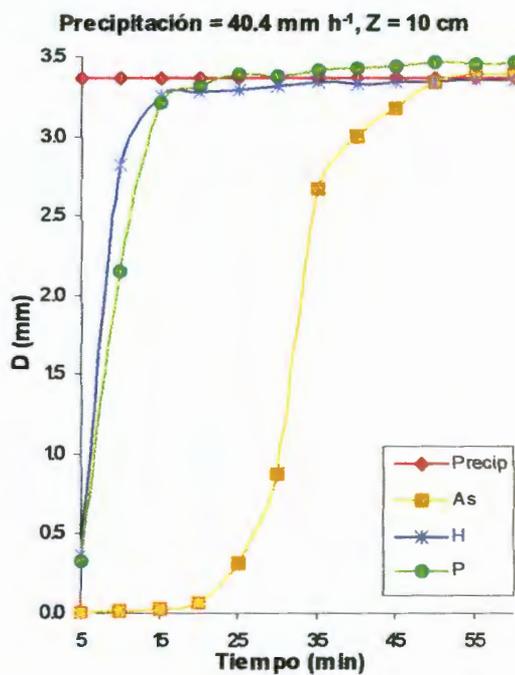
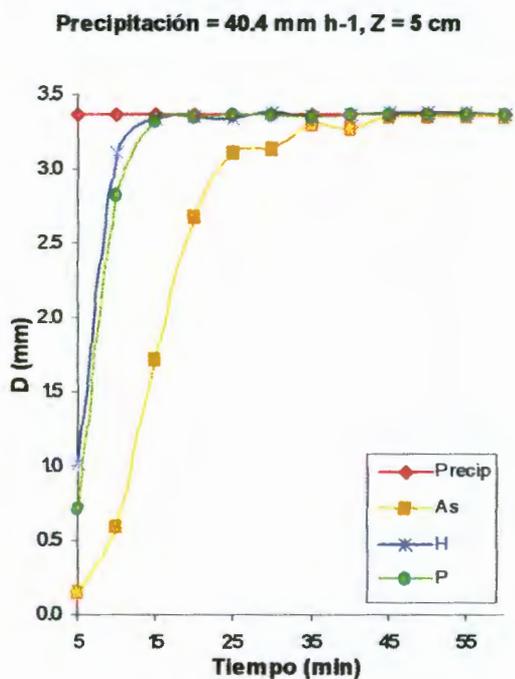
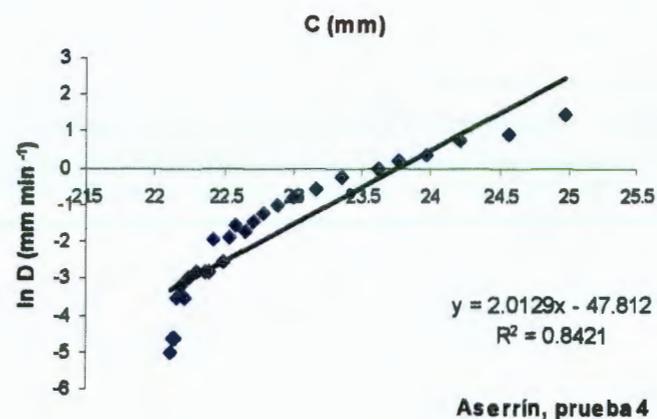
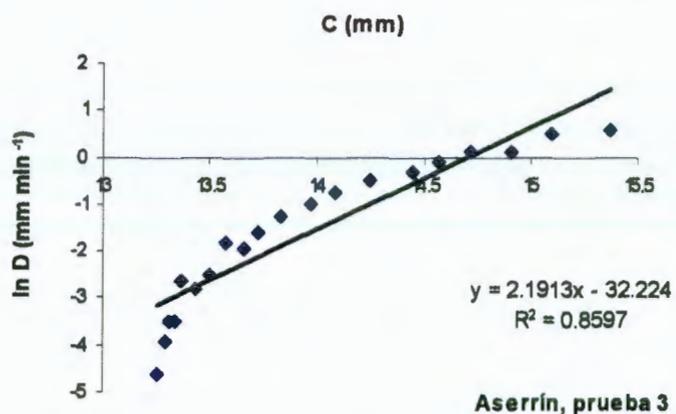
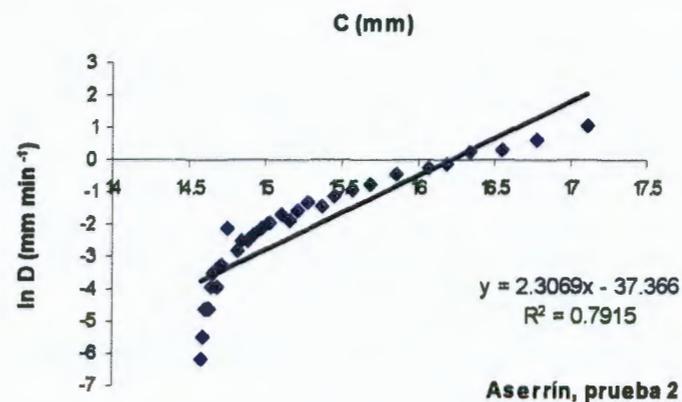
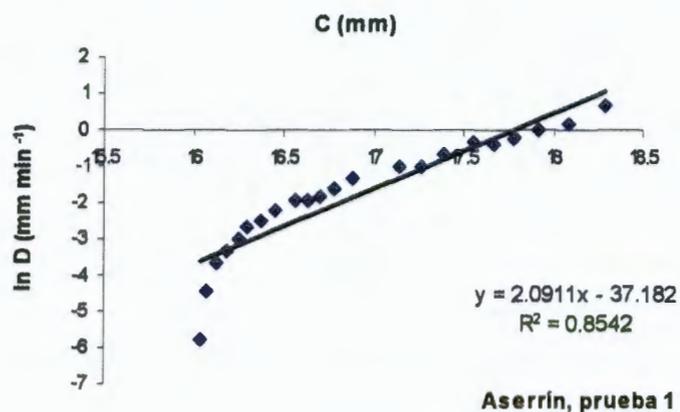


Figura A5 Comportamiento del drenaje (D) cada 5 min durante 1h de simulación, para precipitaciones (Precip) de 9.8 mm h<sup>-1</sup> y 30.2 mm h<sup>-1</sup>, con dos variaciones de espesor de lecho (Z=5 cm y Z=10 cm) y para cada material: aserrín (As), hojas (H) y pásto (P).



**Figura A6 Comportamiento del drenaje (D) cada 5 min durante 1h de simulación, para precipitaciones (Precip) de 40.4 mm h<sup>-1</sup> y 70.9 mm h<sup>-1</sup>, con dos variaciones de espesor de lecho (Z=5 cm y Z=10 cm) y para cada material: aserrín (As), hojas (H) y pasto (P).**

**Anexo 9. Relación lineal entre la capacidad de interceptación y el drenaje (resultado de los experimentos para obtener los coeficientes de drenaje y precolación).**



**Figura A7 Relación lineal entre la capacidad de interceptación (C) y el logaritmo natural del drenaje (ln D) para obtener los valores de los coeficientes de drenaje y percolación, para el aserrín.**

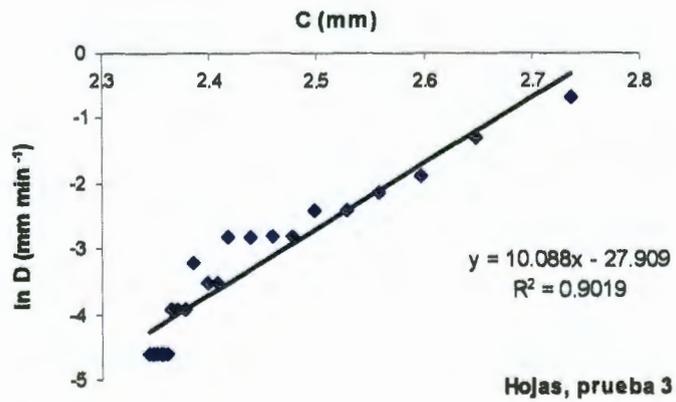
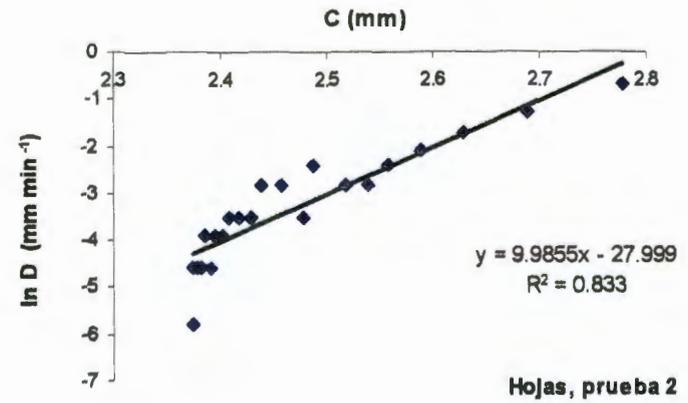
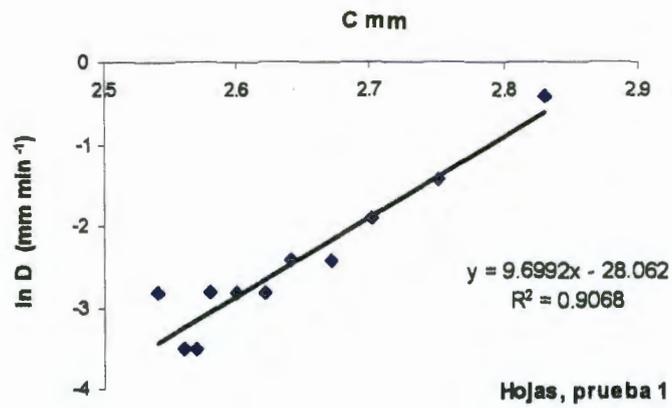


Figura A8 Relación lineal entre la capacidad de interceptación (C) y el logaritmo natural del drenaje (ln D) para obtener los valores de los coeficientes de drenaje y percolación, para las hojas de álamo.

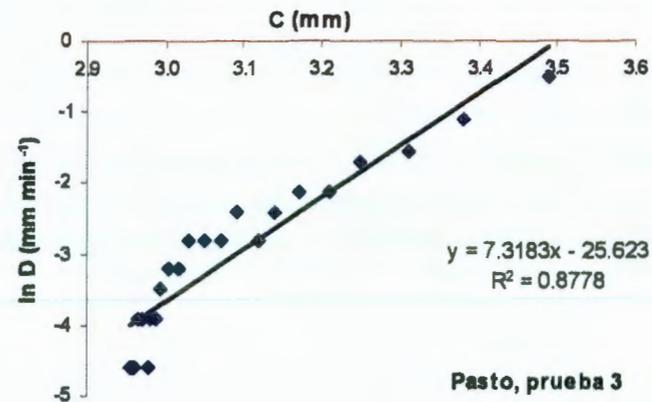
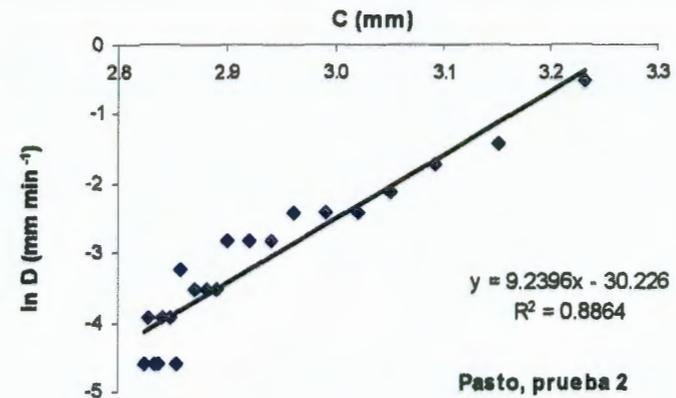
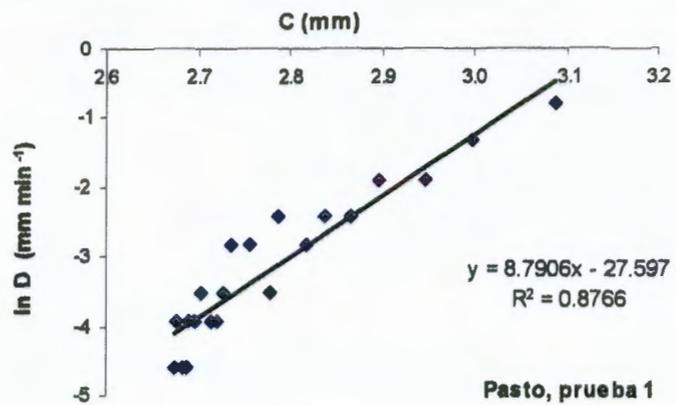


Figura A9 Relación lineal entre la capacidad de intercepción (C) y el logaritmo natural del drenaje (ln D) para obtener los valores de los coeficientes de drenaje y percolación, para el pasto silvestre.

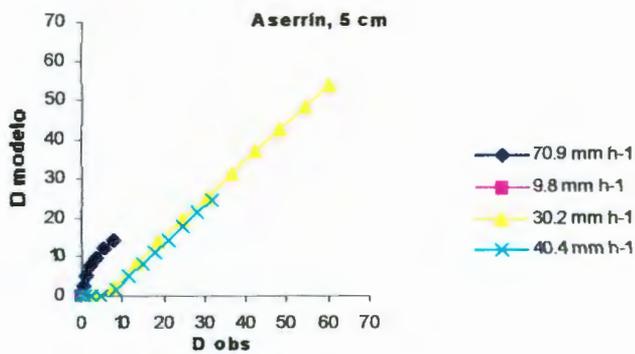
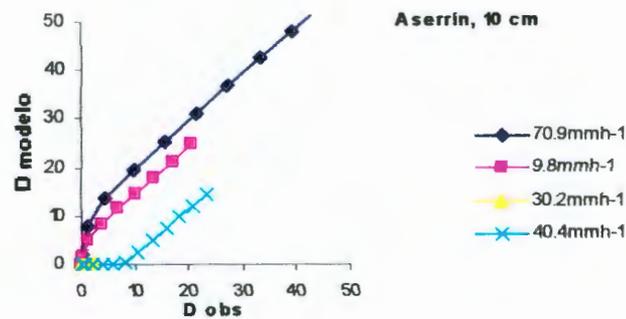
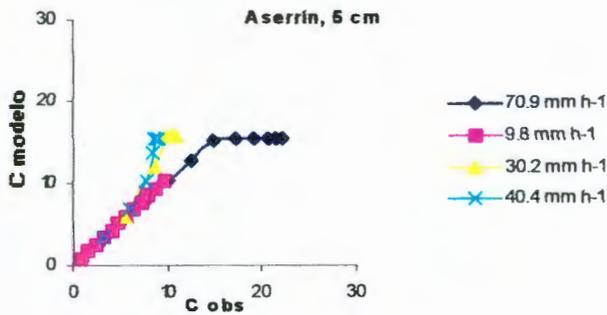
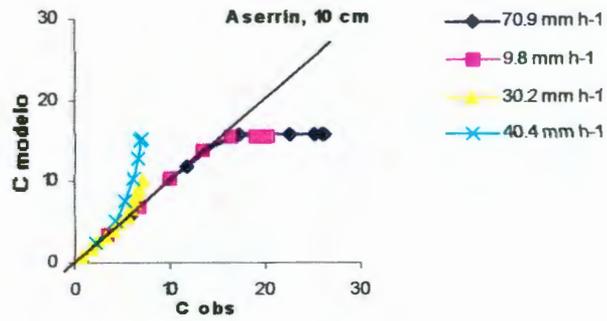
**Anexo 10. Análisis de la eficiencia, sesgo y error cuadrático medio para la capacidad de intercepción y para el drenaje .**

**CAPACIDAD DE INTERCEPCIÓN**

Lecho	Espesor lecho	Intensidad	Eficiencia	Sesgo	Error cuadrático medio
Aserrín	5	9.8	0.8	0.7	1.2
		30.2	0.2	5.9	6.7
		40.4	0.2	5.1	5.6
		70.9	0.2	4.5	4.7
	10	9.8	1.0	0.3	0.4
		30.2	0.4	-2.5	3.8
		40.4	0.5	-2.7	3.5
		70.9	-0.2	-7.5	8.6
Hojas	5	9.8	0.1	1.3	1.4
		30.2	-0.2	0.2	0.3
		40.4	-0.8	0.1	0.1
		70.9	0.0	-1.0	1.1
	10	9.8	0.6	0.4	0.4
		30.2	-0.3	-0.4	0.5
		40.4	-0.1	-1.0	1.1
		70.9	0.0	-2.0	2.0
Pasto	5	9.8	0.5	0.5	0.6
		30.2	0.4	-0.5	0.6
		40.4	0.2	-0.6	0.8
		70.9	0.0	-2.0	2.1
	10	9.8	0.4	0.6	0.7
		30.2	0.1	-1.4	1.5
		40.4	0.1	-2.1	2.1
		70.9	0.0	-3.3	3.3

## DRENAJE

Lecho	Espesor lecho	Intensidad	Eficiencia	Sesgo	Error cuadratico medio
Aserrín	5	9.8	-30.0	-0.7	1.1
		30.2	0.3	-6.0	6.7
		40.4	0.7	-5.1	5.7
		70.9	0.9	-5.0	5.2
	10	9.8	-0.3	-0.1	0.2
		30.2	0.6	2.5	3.7
		40.4	0.9	2.6	3.3
		70.9	0.8	6.9	7.9
Hojas	5	9.8	0.6	-1.7	1.8
		30.2	1.0	-0.6	0.7
		40.4	1.0	0.0	0.2
		70.9	1.0	0.5	0.6
	10	9.8	1.0	-0.4	0.4
		30.2	1.0	0.0	0.3
		40.4	1.0	1.1	1.2
		70.9	1.0	1.3	1.4
Pasto	5	9.8	0.9	-0.6	0.6
		30.2	-0.3	-10.4	12.1
		40.4	-0.3	-15.9	18.3
		70.9	-0.3	-31.0	35.8
	10	9.8	0.9	-0.6	0.6
		30.2	-9.0	-9.5	11.3
		40.4	-0.3	-14.9	17.4
		70.9	-0.3	-29.8	34.7



**Figura A10 Análisis de Eficiencia para la capacidad de interceptación(C) y el drenaje (D) entre los valores observados (obs) y los estimados del programa (modelo) para el aserrín con dos variaciones de espesor de lecho: 5 cm y 10 cm.**

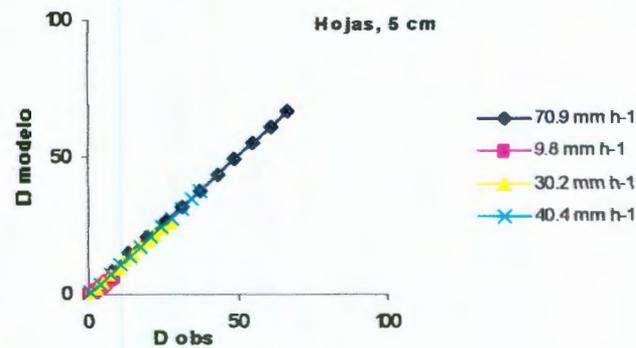
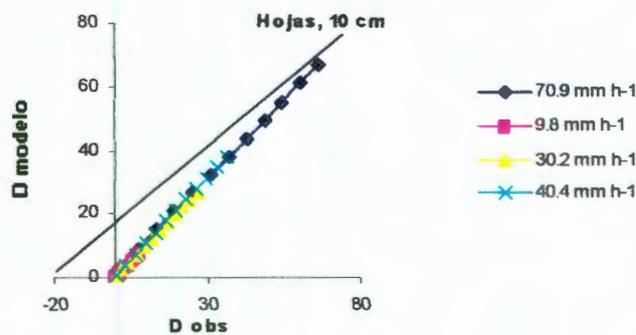
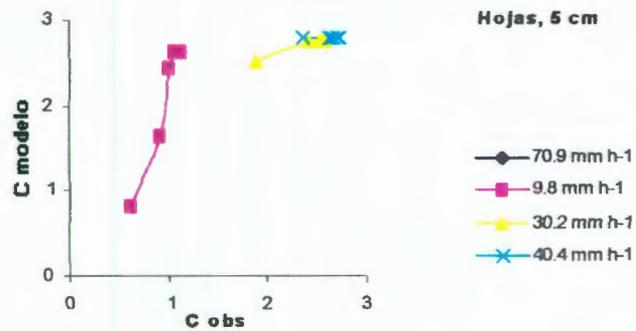
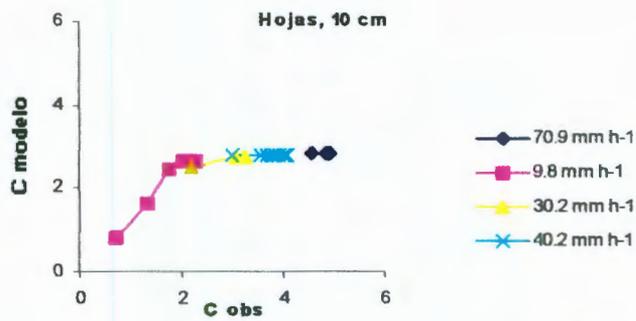
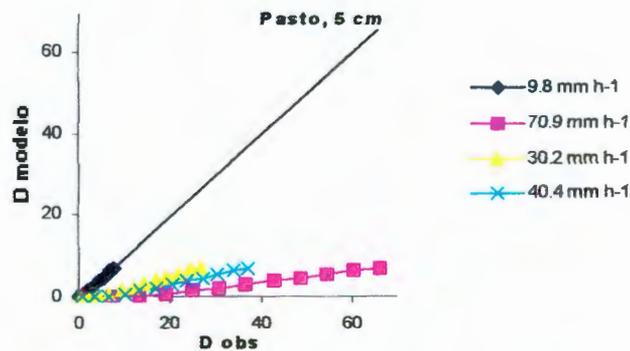
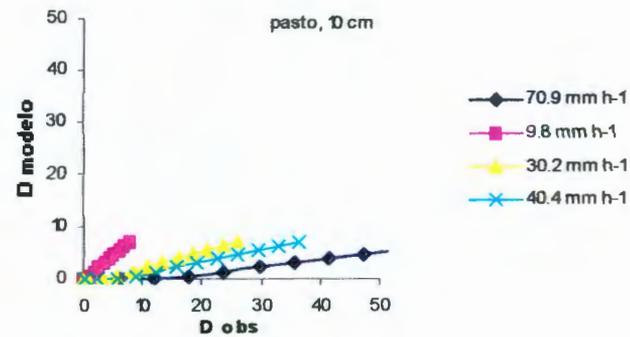
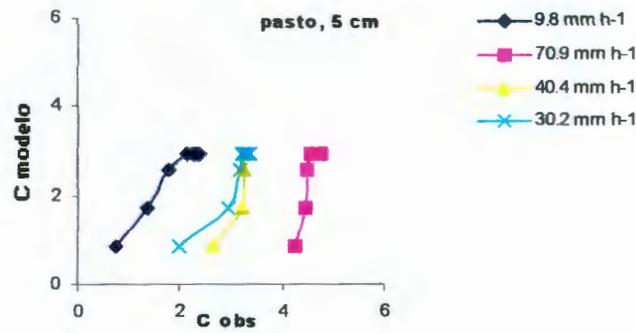
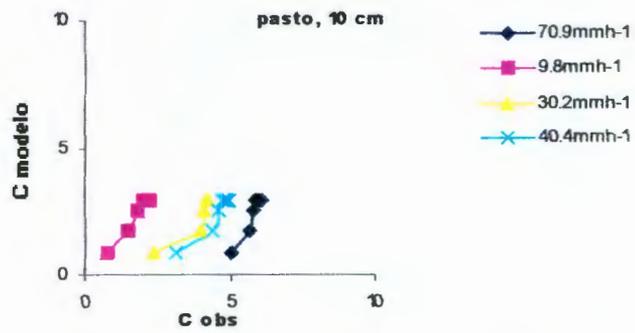
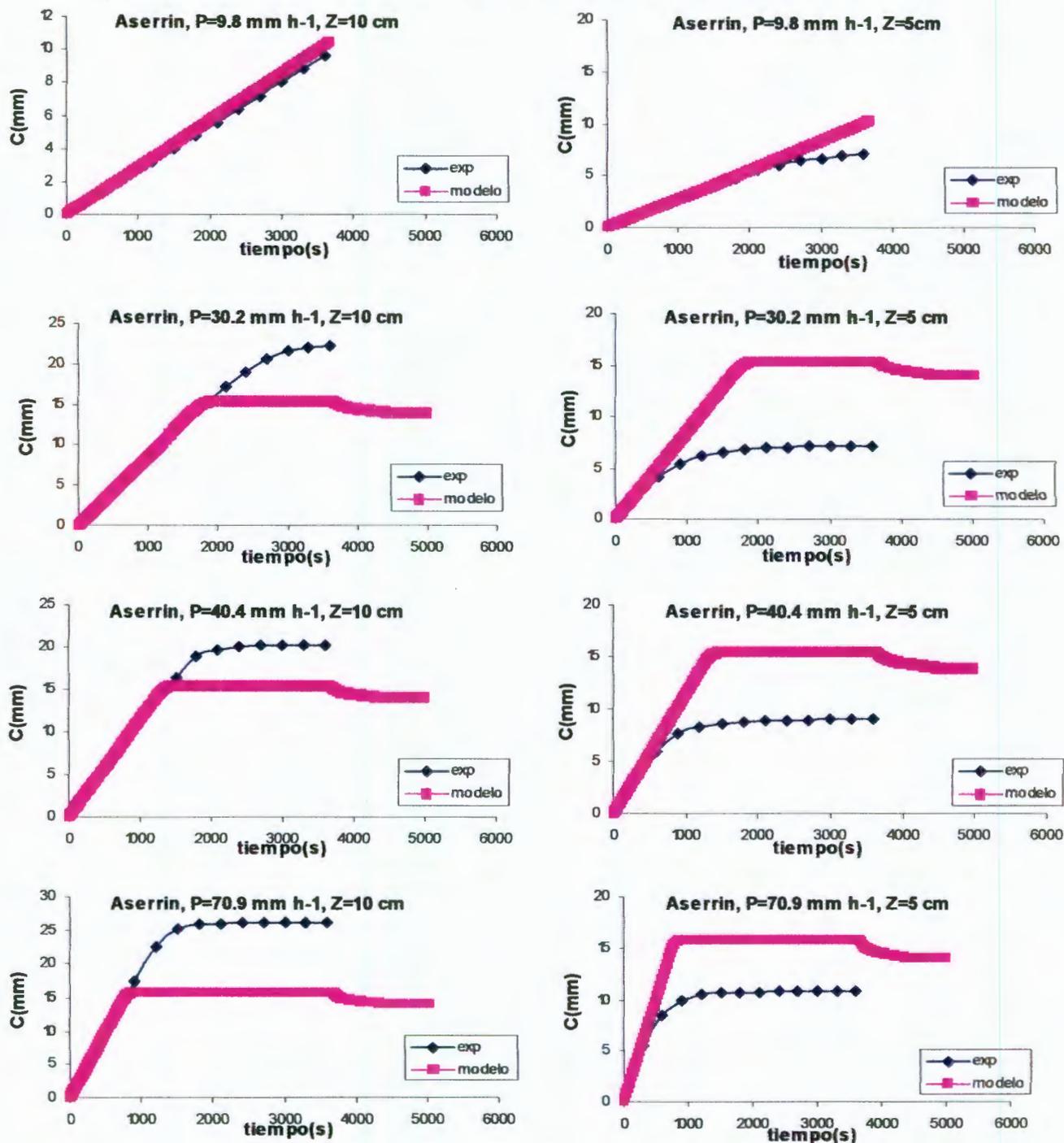


Figura A11 Análisis de Eficiencia para la capacidad de intercepción(C) y el drenaje (D) entre los valores observados (obs) y los estimados del programa (modelo) para las hojas de álamo con dos variaciones de espesor de lecho: 5 cm y 10 cm.



**Figura A12 Análisis de Eficiencia para la capacidad de intercepción(C) y el drenaje (D) entre los valores observados (obs) y los estimados del programa (modelo) para el pasto con dos variaciones de espesor de lecho: 5 cm y 10 cm.**

**Anexo 11. Gráficas comparativas de la capacidad de intercepción obtenida de la experimentación con la obtenida del modelo, para cada lecho.**



**Figura A13 Comparación de la capacidad de intercepción (C) obtenida del modelo (modelo) con la obtenida de la experimentación (exp) para cuatro intensidades de precipitación (P) y dos espesores de lecho (Z) en el lecho de aserrín.**

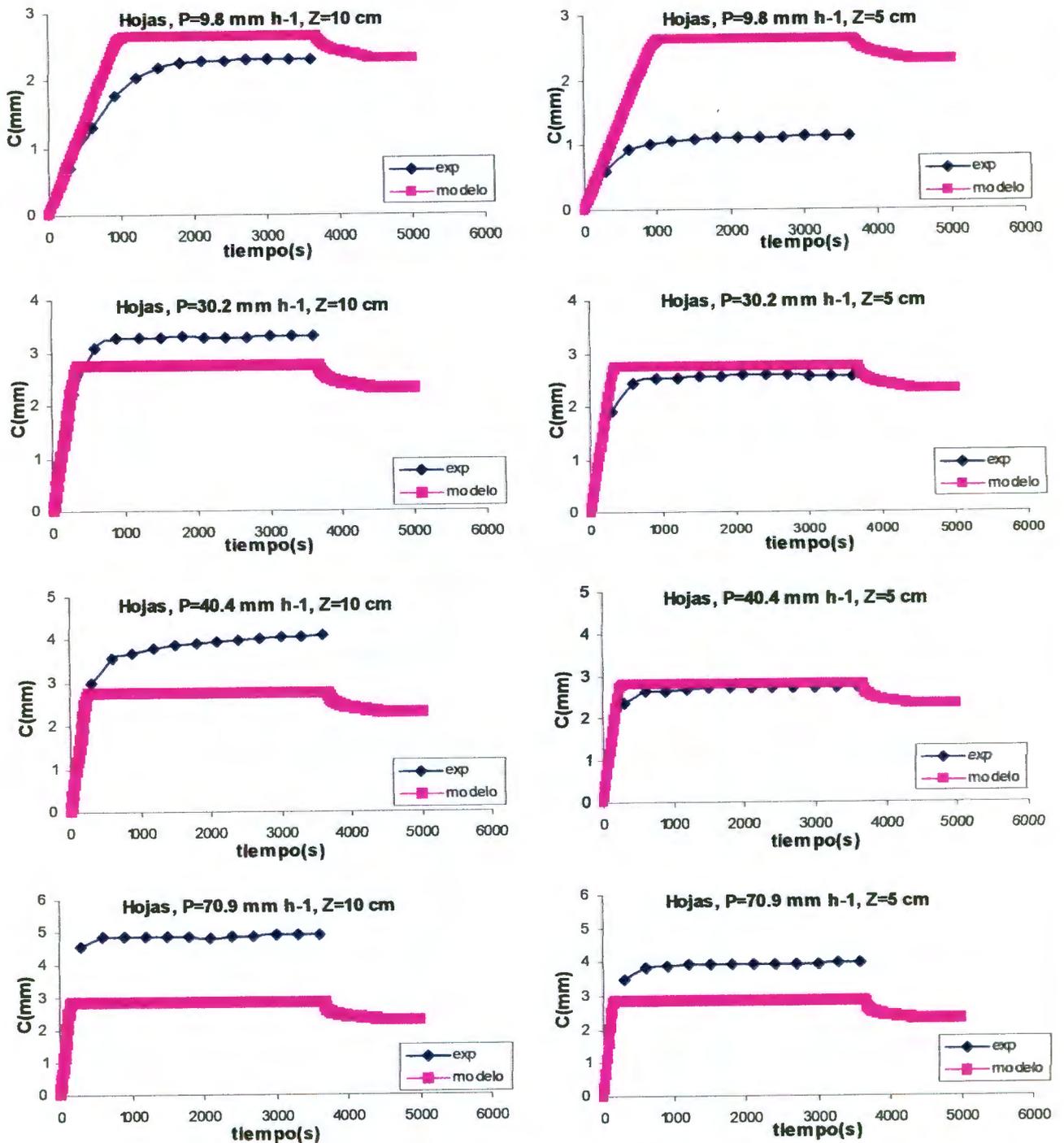


Figura A14 Comparación de la capacidad de interceptación ( $C$ ) obtenida del modelo (modelo) con la obtenida de la experimentación (exp) para cuatro intensidades de precipitación ( $P$ ) y dos espesores de lecho ( $Z$ ) en el lecho de hojas de álamo.

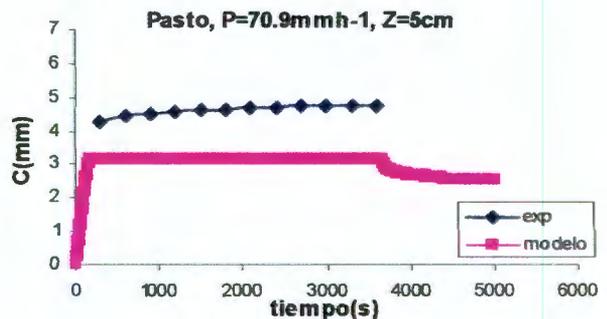
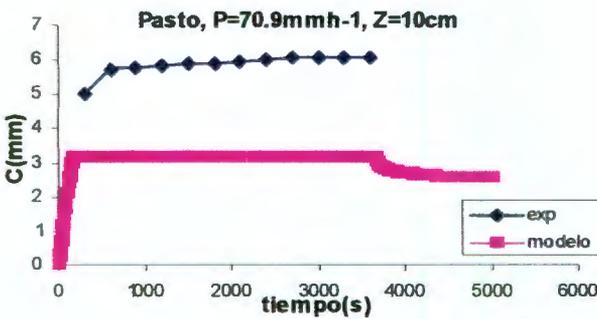
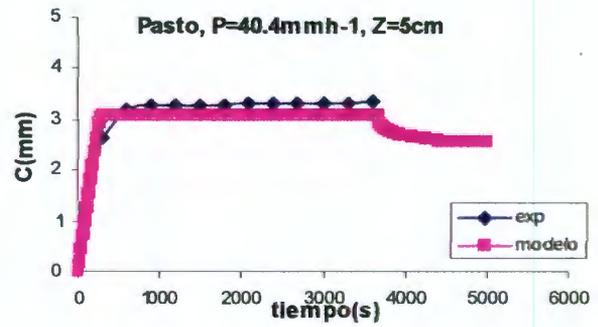
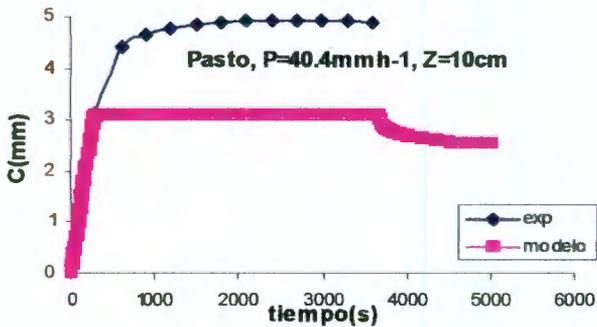
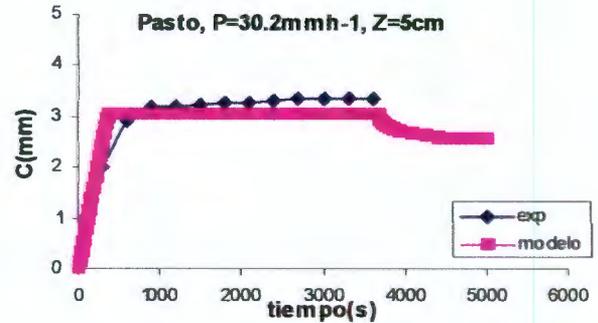
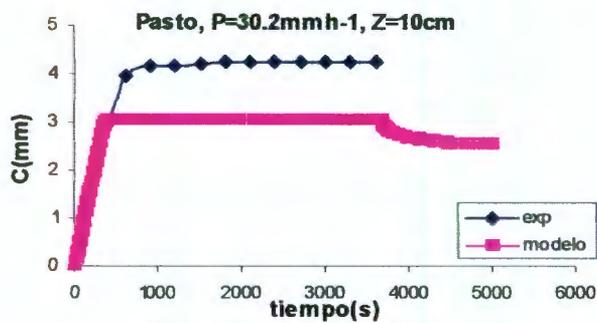
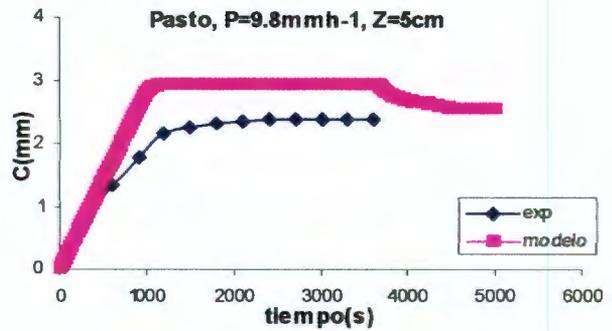
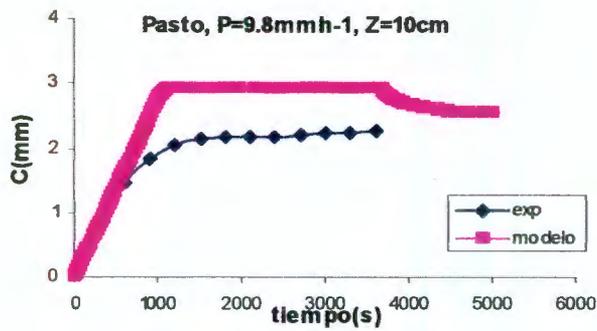


Figura A15 Comparación de la capacidad de intercepción (C) obtenida del modelo (modelo) con la obtenida de la experimentación (exp) para cuatro intensidades de precipitación (P) y dos espesores de lecho (Z) en el lecho de pasto silvestre.