



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO

FACULTAD DE FILOSOFIA Y LETRAS

INFLUENCIA DEL PATRON DE LLUVIAS EN  
LA HUMEDAD DEL SUELO EN UN ECOSISTEMA  
TROPICAL ESTACIONAL

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

**Licenciatura en Geografía**

P R E S E N T A:

**ALBA ESMERALDA ZARCO ARISTA**

Director de Tesis *DR. FELIPE GARCIA OLIVA*

NOVIEMBRE DE 1994

00025632



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## DEDICATORIA

A DIOS POR LA VIDA. POR QUE TODA CAPACIDAD Y FUERZA VIENEN DE TI.

ANA ARISTA MATA

Madre y amiga, gracias por todo tu apoyo y aliento, por tu ejemplo y gran amor.

† RUTILA MATA NAVARRETE

Gracias por tu cuidado de siempre y tu amor por tu fortaleza ejemplo de lucha y superación.

AIDA ZARCO ARISTA

Gracias por tu apoyo y comprensión, por todos los momentos compartidos desde la niñez.

ROBERTO ZARCO BOHORQUEZ

Tu presencia aunque ausente fue importante para mí.

A mi abuelito, tías y tíos, por que al ser una familia nos unen y participamos de la felicidad mutua.

MARIA ANTONIETA GOMEZ

Por tu gran amistad, por que la realización de mis logros y tropiezos los hacías tuyos y el estímulo a seguir adelante.

## AGRADECIMIENTOS

Generalmente nadie tiene la disposición de apoyar a otra gente a comprender mejor las cosas o ayudarle a realizar un mejor trabajo. Por ello mi agradecimiento a:

El Dr. Felipe García Oliva con quien tengo una gran deuda de gratitud, por su inapreciable ayuda y orientación en torno a este proyecto. Su ayuda en esa búsqueda es la que me ha permitido convertir en letra impresa esta tesis.

A la Dra. Martha Cervantes, Dr. Mario Arturo Ortíz, Mtro. Jorge López Blanco, Dr. Juan Carlos Gómez por su aceptación en fungir como jurado y su tiempo dedicado en la revisión y orientación en torno a este trabajo.

A Leopoldo Galicia por estimularme a realizar la tesis y presentarme con el Dr. Felipe García Oliva. Por todo lo que pude crecer en su compañía.

Al Dr. Manuel Maass por permitirme trabajar dentro del proyecto Estructura y Funcionamiento de un ecosistema tropical estacional, y por su disposición. A Rocío Esteban por su apoyo y disposición.

A los compañeros del laboratorio: Jorge Castellanos, Alejandro Morón, Armando López, Enrique Solís, Patricia Centeno por su ayuda en los programas de computación y su agradable compañía.

Andar en estrecha comunión con un amigo es acortar el viaje (Hugo Redwood). A mis amigos por que cada uno tiene algo que ver en este trabajo: Genoveva Jiménez, Marcela Medrano, Teresa Sosa, Norma Espinoza, Víctor Orduña, Alberto Tello, Sara Rodríguez, Irma Zavaleta, Angélica Oropeza.

Al laboratorio de Ecosistemas del Centro de Ecología UNAM por todo su apoyo al permitirme tener lo indispensable para trabajar en él.

A la Estación de Biología Chamela, Instituto de Biología-UNAM.  
Por su apoyo logístico en el trabajo de campo durante el desarrollo  
del proyecto.

A DGAPA-UNAM por el apoyo económico brindado a este trabajo  
como parte del proyecto Estructura y Funcionamiento de un  
Ecosistema Tropical Estacional (IN206092).

## LISTA DE CUADROS

- Cuadro 1. Distribución de las muestras que se usaron para la curva de calibración
- Cuadro 2. Distribución de los cubos de Bouyoucos por cuadro y cuenca
- Cuadro 3. Cantidad total de mantillo por cuadro
- Cuadro 4. Distribución anual de la lluvia por mes
- Cuadro 5. Precipitación por tormenta año 1989
- Cuadro 6. Precipitación por tormenta año 1990
- Cuadro 7. Resultados de los análisis de regresión (0-10 cm)
- Cuadro 8. Resultados de los análisis de regresión (20-30 cm)
- Cuadro 9. Resultados de los análisis de regresión ladera norte
- Cuadro 10. Resultados de los análisis de regresión ladera sur
- Cuadro 11. Humedad ajustada del suelo por orientación de laderas en la Cuenca 1.

## LISTA DE FIGURAS

- Fig.1      Ciclo del agua
- Fig.2      Mapa de localización del sitio de estudio
- Fig.3      Precipitación mensual 1989-1990
- Fig.4      Comportamiento de la escorrentía en relación a la precipitación 1989-1990
- Fig.5      Curva de calibración
- Fig.6      Curva de esfuerzo de humedad del suelo
- Fig.7      Mapa de localización de las cinco cuencas con los cuadros de muestreo
- Fig.8      Diagrama de un cuadro de muestreo con la distribución de los cubos en campo
- Fig.9      Distribución mensual de la humedad del suelo por profundidad en el Cuadro 3
- Fig.10     Distribución mensual de la humedad del suelo por profundidad en el Cuadro 5
- Fig.11     Relación entre la precipitación mensual y el porcentaje de humedad del suelo (0-10 cm)
- Fig.12     Relación entre el coeficiente de determinación ( $R_1^2$ ) y la pendiente (m), 0-10 cm
- Fig.13     Regresión entre la precipitación mensual y la humedad del suelo (0-10 cm)
- Fig.14     Relación entre la precipitación mensual y el porcentaje de humedad del suelo (20-30 cm)
- Fig.15     Relación entre el coeficiente de determinación ( $R_2^2$ ) y la pendiente (m), 20-30 cm
- Fig.16     Regresión entre la precipitación mensual y la humedad del suelo (20-30 cm)
- Fig.17     Distribución mensual de la humedad del suelo por laderas de 0-10 cm
- Fig.18     Relación entre el coeficiente de determinación ( $R_2^2$ ) y la pendiente (m) en la ladera Norte

- Fig.19 Relación entre la precipitación mensual y el porcentaje de humedad del suelo en la ladera Norte
- Fig.20 Regresión entre la precipitación mensual y la humedad del suelo en la ladera Norte
- Fig.21 Relación entre el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) y la pendiente (m) en la ladera Sur
- Fig.22 Relación entre la precipitación mensual y el porcentaje de humedad del suelo en la ladera Sur
- Fig.23 Regresión entre la precipitación mensual y la humedad del suelo en la ladera Sur

## INDICE

	Pág.
Resumen	1
Introducción	2
Objetivos	11
Sitio de trabajo	12
Método	24
Resultados	34
Discusión	62
Conclusiones	70
Bibliografía	71
Apéndices	
I. Características físicas de los suelos en Chamela, Jalisco	74
II. Datos de escorrentía período 1989-1990	76
III. Distribución de los cubos	77
IV. Datos de humedad del suelo por cuadro, profundidad y orientación 1989-1990	79

## RESUMEN

En este trabajo se analiza el patrón estacional de la humedad del suelo en un sistema de cinco cuencas ubicado en la Estación de Biología, Chamela. El estudio se realizó en un ecosistema tropical estacional en la costa de Jalisco.

El análisis de la precipitación presentó una marcada estacionalidad. Este patrón fue diferente en los dos años de estudio: i) En el año 1989 en donde la estación lluviosa se presenta en los meses de Julio a Octubre y en donde la influencia ciclónica se presenta a finales del año. ii) En 1990 el mes de mayor humedad fue Junio caracterizando un año típico de influencia ciclónica temprana, el resto del año fue de bajos registros de lluvia.

Se encontró que la precipitación mensual explica muy bien la humedad del suelo. Esta influencia fue más clara en el análisis de la marcha mensual de la humedad entre cuadros de muestreo.

En general los primeros 10 cm del suelo presentaron registros de humedad más altos que la capa profunda. Siendo mayor la primera en un 1.25%. Este comportamiento dependió no solo de las condiciones edáficas de los cuadros de muestreo, también hay que considerar la resistencia eléctrica la cual disminuye la transmisión de humedad hacia la capa profunda.

El comportamiento de la humedad del suelo de acuerdo a la orientación de laderas fue de una mayor humedad en las orientadas hacia el Norte. Esta responde básicamente a la incidencia solar la cual es mayor en la ladera orientada hacia el Sur. Generando con ello una elevada pérdida de humedad por evapotranspiración.

Se propusieron los principales factores que determinan la marcha de la humedad del suelo en la zona de estudio.

## INTRODUCCION

### Justificación

El hombre ha dependido para su supervivencia de la cosecha de los organismos o de sus partes, por lo que ha tenido que recurrir a la manipulación de los ecosistemas en los que viven tales organismos. Estos cambios o manipulaciones tienen que ver con aspectos tales como la modificación de la estructura original del ecosistema y cambios en el nivel de recursos de los cuales depende la producción del sistema como es el caso de insumos (fertilizantes, agua, entre otros).

Los componentes de un ecosistema tanto bióticos como abióticos están íntimamente relacionados por procesos naturales que también son parte del ecosistema. Muchos de estos procesos constituyen mecanismos estabilizadores del ecosistema y al estabilizarlo permiten su permanencia en el tiempo (Sarukhán y Maass, 1990).

Los determinantes de la producción de los sistemas terrestres, ya sean ecosistemas naturales o manejados por el hombre, son los siguientes: A) la tasa de fotosíntesis que depende de la radiación solar, B) la disponibilidad de agua en el suelo, C) la abundancia de nutrientes en el suelo y D) la temperatura ambiente (Idem).

Entre los factores climáticos que afectan la estructura y dinámica de los ecosistemas naturales están: la distribución de la humedad en el suelo en el tiempo y en el espacio y la radiación solar (Barradas, 1991). De la distribución de la humedad en el suelo depende la sobrevivencia de las especies que componen al ecosistema. Es necesario comprender el movimiento del agua subterránea y su almacenaje para apreciar otros componentes del ciclo hidrológico, entendiéndose que el agua superficial y el agua subsuperficial están íntimamente asociadas en un proceso continuo de intercambio.

Los trabajos a nivel cuenca deben ser importantes en los estudios ecológicos, particularmente en los balances de nutrientes, hidrológico y de producción primaria, teniendo como unidad experimental la cuenca hidrológica (Galicia, 1992).

Para la selva baja caducifolia, los períodos de sequía, su duración y frecuencia ejercen una fuerte influencia en el funcionamiento general del ecosistema (Barradas y Fanjul, 1985).

El 42% de la superficie de los trópicos corresponde a ecosistemas tropicales estacionales (Murphy and Lugo, 1986) y se le ha dado poca importancia al estudio de estos ecosistemas. El presente trabajo es parte de un proyecto a largo plazo que estudia la estructura y dinámica de un ecosistema tropical estacional en la costa de Jalisco, desarrollado por el grupo de ecosistemas del Centro de Ecología, UNAM.

### Ciclo hidrológico

El estudio del ecosistema puede ser enfocado en el movimiento de energía y materiales incluyendo agua, químicos, nutrientes y contaminantes, dentro y fuera del ecosistema. Sin embargo no todos los procesos son de igual importancia en términos del control del funcionamiento del ecosistema; como lo son los flujos de energía, agua y nutrientes (Aber y Melillo, 1991).

En este contexto consideremos el ciclo hidrológico y su importancia en el ecosistema. Este se caracteriza por compartimientos atmosféricos muy pequeños pero muy activos, que son muy vulnerables a las perturbaciones provocadas por el hombre, perturbaciones que a su vez pueden cambiar advertida o inadvertidamente el tiempo y el clima (Odum, 1988).

Según se muestra en la Fig. 1, el compartimiento atmosférico del agua es pequeño y tiene una rápida velocidad de renovación y un tiempo de residencia menor: la energía solar determina la evaporación del agua, la mayor parte se presenta en los océanos y en menor proporción sobre aguas continentales como lagos y ríos.

Una parte de la lluvia que sostiene los ecosistemas terrestres, incluida la mayor parte de la producción de alimentos del hombre, proviene de agua evaporada del mar; en muchas regiones, como el valle del Mississippi se calcula que el 90% de la precipitación pluvial proviene del mar (Odum, 1988).

La precipitación pluvial puede tomar diversos cursos (Sutton y Harmon, 1983):

- Evaporarse inmediatamente por acción de la energía solar
- Caer en el depósito principal del agua
- Caer en las masas terrestres siguiendo diversos cursos:
  - i) como flujo superficial, unirse a ríos y arroyos, en algunos casos desembocar al mar
  - ii) infiltrarse al suelo y ser absorbida por las raíces de la vegetación empleándose en el proceso fotosintético y la transpiración
  - iii) filtrarse y unirse a los depósitos de agua subterránea y surgir posteriormente como manantiales, fuentes y lagos
- Evaporarse nuevamente

La diferencia entre la precipitación pluvial anual (1.0 geogramos, 1 geogramo =  $10^{20}$  gramos) y el escurrimiento que es de 0.2 geogramos, esto es 0.8 es un cálculo de la proporción anual de recarga del agua de la tierra. La tendencia del hombre a aumentar la velocidad del escurrimiento podrá reducir muy pronto el compartimiento muy importante del agua en el suelo (Odum, 1988).

## Agua en el suelo

### Infiltración

El promedio de infiltración es el promedio al cual el agua entra al suelo en un tiempo dado, está limitado por las características del suelo y por la disponibilidad de agua.

La infiltración de la lluvia determina la cantidad de escurrimiento y la disponibilidad de agua para el crecimiento de las plantas y la recarga del agua subterránea. Este es probablemente el proceso hidrológico más importante dentro de una cuenca.

La capacidad de infiltración siempre decrece con el tiempo, principalmente debido a que el gradiente hidráulico disminuye con una infiltración continua (Slack y Larson, 1981). Cuando la lluvia se infiltra al suelo, una porción de esta es almacenada en los espacios porosos, mientras que el resto drena por fuerza de gravedad.

La cobertura vegetal y el uso del suelo son factores muy importantes de la infiltración. La vegetación y el mantillo protegen al suelo de las gotas de lluvia y le proveen de materia orgánica al unir las partículas del suelo en agregados. La fauna del suelo ayuda en este proceso por la mezcla de las partículas minerales y la materia orgánica. El manejo de la vegetación durante el uso de la tierra provoca grandes diferencias en la capacidad de infiltración bajo el mismo régimen de lluvia y tipo de suelo, en particular la tala de bosques y su reemplazo por cultivos que no cubren el suelo eficientemente y no mantienen un alto contenido de materia orgánica en el suelo, frecuentemente disminuye drásticamente la capacidad de infiltración (Dunne y Leopold, 1978).

## Evapotranspiración

Las plantas que crecen en el suelo absorben el agua y reducen la cantidad de humedad existente en el suelo. Parte de ello será trasladada de las raíces a las hojas, la cual en gran parte se perderá por la evaporación y la transpiración de las superficies de la hoja. Un segundo e importante factor de pérdida es la evaporación directa de la superficie del suelo, que ayuda prácticamente a la remoción de la humedad del suelo. Ambas pérdidas tienen lugar simultáneamente y son responsables de una tasa muy rápida en la desaparición del agua de los suelos (Fig.1).

El índice de pérdida de agua por evapotranspiración, tanto del suelo como por transpiración se determina fundamentalmente por el gradiente de presión de vapor; esto es, por la diferencia entre la presión de vapor en las hojas o en la superficie del suelo, y la de la atmósfera. El gradiente de presión de vapor a su vez se relaciona con varios otros factores comunes climáticos.

Se necesita mucha energía térmica para evaporar el agua, tanto directamente del suelo como de la superficie de las hojas. La fuente primaria de esta energía es el sol. La energía radiante absorbida por los suelos y plantas varía mucho de un lugar a otro y de un día a otro, dentro de la misma área.

La evaporación del agua está muy influida por la temperatura, por consiguiente durante los días tibios y cálidos, la presión de vapor en las superficies de las hojas o en la de un suelo húmedo es muy alta. La temperatura no tiene un efecto directo parecido sobre la presión de vapor de la atmósfera ( un mayor gradiente de presión de vapor ) y la evaporación se produce activamente. El hecho de que en días claros y brillantes, las plantas y sobre todo los suelos puedan estar más calientes que la atmósfera, manifiesta la importancia de la temperatura en el control de la evapotranspiración.

## Escurrientía

La escurrientía comprende toda el agua que se desplaza en un canal, su magnitud puede ser pequeña (escurrimiento), hasta los grandes ríos del mundo. Representa el exceso de lluvia sobre la precipitación y es el principal acarreador de materiales en ecosistemas no perturbados (Ward, 1975; Brown, 1980).

Estudios sobre los procesos de generación de escurrimientos en regiones húmedas sugieren que la falta de uniformidad de respuesta, se debe a la variación espacial en las condiciones de humedad del suelo.

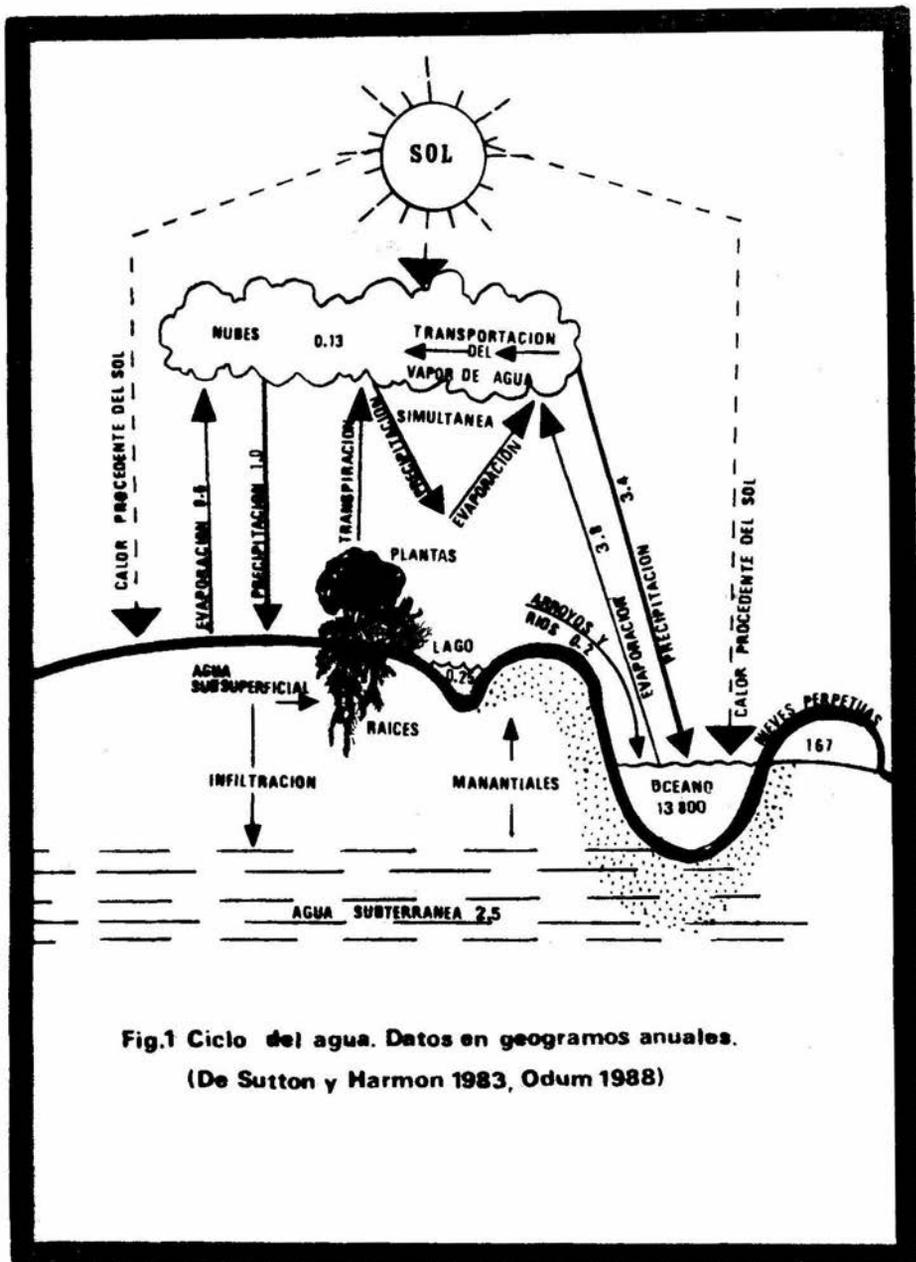


Fig.1 Ciclo del agua. Datos en geogramos anuales.  
 (De Sutton y Harmon 1983, Odum 1988)

Varias diferencias en las características de la superficie han sido usadas para explicar los patrones de respuesta a la escorrentía. Yair (1974) (citado por Scogin, 1982) notó que tal variación espacial en una cuenca de primer orden son controladas por dos variables topográficas: i) la longitud de la pendiente, ii) el ángulo de la pendiente, las cuales son responsables de las variaciones en otras propiedades superficiales principalmente la profundidad del suelo. En condiciones más extremas de pendiente se tiene un efecto decisivo sobre la generación de escorrentía y por lo tanto de la infiltración (Scoging, 1982).

## Capacidad de retención de agua

### Factores edáficos

La textura del suelo, la cual se refiere a las proporciones relativas de varios grupos de partículas individuales agrupadas por tamaños que se encuentran en la masa del suelo. Específicamente se refiere a las proporciones de arena, limo y arcilla presentes en el suelo. Las clases de textura del suelo se basan en combinaciones diferentes de arena, limo y arcilla. Estas clases se expresan en términos adecuados que indican la predominancia en la masa del suelo, de partículas de determinados tamaños (Hernández y Sánchez, 1973).

Los suelos con textura arenosa tienen grandes poros por los cuales el agua puede drenar fácilmente, mientras que la dominancia de poros finos en los arcillosos retarda el drenaje. Suelos profundos bien drenados con textura arenosa y un gran contenido de materia orgánica tienen un alto promedio de infiltración, mientras que perfiles de suelos desarrollados en arcillas acepta solamente bajos promedios y volumen de infiltración (Post y Dreibelbis, 1942 citado por Dunne y Leopold, 1978).

El tipo de estructura del suelo se determina por la forma general de los agregados. La clase de estructura se determina por el tamaño de los agregados y el grado de estructura es dependiente de la estabilidad o cohesividad de los agregados ( i. e. una estructura Migajosa, es relativamente porosa, peds pequeños y esferoidales; no ajustados a los agregados adyacentes) (Hernández y Sánchez op cit).

La estructura afecta la penetración de agua, el drenaje, la aireación y desarrollo de raíces, afectando la productividad del suelo.

La estructura del suelo es afectada por el proceso de erosión, ya que remueve las partículas orgánicas e inorgánicas (nutrientes disponibles y potenciales) y reduce la superficie de intercambio catiónico y la capacidad de infiltración (Brady, 1974) en suelos muy degradados por erosión la infiltración se ve reducida hasta en un 93% (Lal, 1976).

Los suelos arenosos son relativamente bajos en espacio poroso total y proporcionalmente tienen densidades aparentes altas. Los suelos superficiales de migajón, arenoso y arena varían en su densidad aparente de 1.6 a 1.9 g/m<sup>3</sup> y en los suelos de textura fina (migajón limoso y arcilloso) normalmente varía de 1.0 a 1.6 g/m<sup>3</sup>.

La compactación concentra el material sólido reduciendo el espacio poroso total y aumenta la densidad aparente.

La materia orgánica del suelo (M.O.S.) proviene de las raíces, residuos de plantas y organismos vivos o muertos del suelo. En forma general se ha indicado que los suelos minerales contienen menos del 20% de M.O.S. mientras que los suelos orgánicos (turberas o mucks) contienen más del 20% de M.O.S.

La acumulación de la M.O.S. es favorecida en áreas de precipitación abundante o drenaje deficiente, baja temperatura y vegetación original de pastos. Mejora la condición estructural tanto de los suelos arenosos como arcillosos. Los suelos arenosos que tienen muy poca cohesión y plasticidad son ligados por la M.O.S. un buen abastecimiento de ella también mejora la capacidad de retención de agua de los suelos arenosos (Hernández y Sánchez, op cit).

La materia orgánica en el suelo favorece la infiltración y la filtración (Borma, et al, 1974), por lo que al haber pérdida de nutrientes y materia orgánica es afectada la estructura edáfica y con ello su capacidad de infiltración, su habilidad para retener agua y nutrientes y su disponibilidad de materia y energía para el desarrollo de la fauna en el suelo (Maass y García-Oliva, 1990).

La influencia de la materia orgánica merece especial atención, si consideramos que un suelo mineral bien drenado que contenga un 5% de M.O. tendrá probablemente una capacidad de humedad aprovechable más alta que otro con un 3% de M.O. Ello puede conducir al error de creer que este efecto favorable se deba directamente a la capacidad de contención de humedad por la M.O. este no es el caso. Gran parte del provecho de la materia orgánica se debe a su influencia favorable sobre la estructura del suelo y a su vez a la porosidad de este.

## Tipos de agua en el suelo

No hay líneas sutiles de separación en las cuales basarse para la clasificación de las aguas del suelo. Sin embargo, puede utilizarse algún sistema arbitrario de clasificación, para poseer unos términos convenientes en su estudio.

Basándose en un grado relativo de retención, Hernández y Sánchez (1973), clasifican al agua del suelo en libre y capilar.

1. AGUA LIBRE (DRENAJE)
  - a. agua en el suelo, por encima de la capacidad de campo
  - b. agua retenida débilmente, menos de 0.1 y 0.5 atmósferas de tensión
  - c. agua no aprovechable, separada por drenaje
  - d. actúa respondiendo a la tensión de la película y de las fuerzas gravitatorias
  - e. los nutrientes son arrastrados con el agua
  
2. AGUA DE CAPILARIDAD
  - a. adherida tanto por la capacidad de campo como por el coeficiente higroscópico en los macroporos
  - b. la tensión de la película varía entre 0.1 y 31 atmósferas
  - c. no asimilable totalmente por las plantas
  - d. actúa por el ajustamiento o equilibrio de la película, desde las películas gruesas a las finas
  - e. funciona como solución del suelo

## Capacidad de campo

Quando se recibe una gran cantidad de agua en la superficie de un suelo, el ajuste de la tensión añadido al flujo de la gravedad a través de los grandes poros, humedecerá al final todo el perfil, a menos que halle una capa impermeable. Pero si el agua se limita a las condiciones naturales, como sucede a veces, el movimiento será drásticamente paralizado si el contenido de humedad se reduce por debajo de la capacidad del terreno. La capacidad de campo usualmente significa el contenido de humedad del suelo en el campo 2 ó 3 días después de una fuerte lluvia.

El efecto de la tensión de humedad sobre la cantidad de humedad asimilable en un suelo es evidente. Aquellos factores que afectan a la cantidad de agua de un suelo, como la capacidad de campo y a su vez el coeficiente de marchitez, influirán sobre el agua asimilable.

#### **Humedad higroscópica**

Se refiere a la película que se forma, quizá de unas pocas moléculas densas, alrededor de las partículas del suelo bajo el coeficiente de marchitez. Esta humedad higroscópica no está disponible a las plantas.

#### **Humedad antecedente**

El contenido de humedad antecedente es en extremo importante en influenciar el promedio de la medida del flujo superficial, esta se incrementa exponencialmente con el contenido de humedad antecedente, cuando otros factores del suelo permanecen constantes. Un alto contenido de humedad antecedente reduce el promedio de infiltración y reduce el tiempo de ocurrencia del flujo superficial, así el escurrimiento total y el flujo superficial son funciones lineales del contenido de humedad antecedente.

La presente tesis tuvo el siguiente objetivo general:

#### **OBJETIVO GENERAL**

Analizar el patrón de la humedad del suelo en un Ecosistema Tropical Estacional en la Costa del Estado de Jalisco.

#### **OBJETIVOS PARTICULARES**

Conocer el patrón estacional de la humedad del suelo en un sistema de cinco cuencas

Relacionar el patrón de lluvias con el comportamiento de la humedad del suelo

Describir las diferencias en el contenido de humedad del suelo en dos profundidades (0-10 cm y 20-30 cm)

Determinar el efecto de la orientación de las laderas, en el patrón de humedad del suelo

Describir el patrón espacial de la humedad del suelo en cinco cuencas hidrológicas.

## SITIO DE TRABAJO

### LOCALIZACION

Chamela se localiza en el sur de la Costa del Pacífico del Estado de Jalisco (19° 30' latitud norte y 105° 01' longitud oeste, Fig.2) en el municipio de La Huerta. En esta zona se ubica la Estación de Biología Chamela, Instituto de Biología UNAM. La estación tiene un área de 1600 ha.

### GEOLOGIA

En el área se encuentran las rocas metamórficas más antiguas del Estado, pertenecientes al período Jurásico. Se localizan al sur de Puerto de Vallarta, al noroeste de Mascota, al oeste de Talpa de Allende y al noroeste de Tecalitlán.

En la porción occidental de la Sierra Madre del Sur, fue emplazado un batolito con rocas ígneas graníticas durante el cretácico superior. Este provocó grandes dislocaciones, fallas y fracturas de las rocas preexistentes. Durante el período terciario, se originaron los depósitos de rocas volcánicas que cubrieron una gran parte del área y al mismo tiempo se formaron los depósitos de rocas sedimentarias continentales. En el cuaternario se formaron los suelos de depositación que se encuentran en los litorales y en los valles de esta región (INEGI, 1985).

Estas sierras contienen dos tipos de roca: granitos y rocas volcánicas con alto contenido de sílice. Las primeras son rocas ígneas formadas a partir de minerales en fusión (magma) y las segundas son rocas lávicas formadas a partir del magma parental derramado en la superficie terrestre (INEGI, 1985).

Estas sierras están constituidas en más de la mitad de su extensión por un enorme cuerpo de granito, la emersión de estos batolitos no es ajena a la Placa de Cocos, la cual debe haber involucrado el levantamiento simultáneo de rocas (INEGI, 1985).

Esto no excluye que la dominancia de rocas volcánicas llegue a ser absoluta en esta región. La sierra se levanta más o menos abruptamente del mar y presenta un desarrollo incipiente de valles y llanuras costeras. El sistema de topofomas dominantes son lomeríos y lomeríos con llanos aislados con altitudes que van de los 20 a los 180 m.s.n.m. con pendientes entre 15° y 60° y con formas predominantemente convexas (INEGI, 1985).

## RELIEVE

El relieve se caracteriza por la dominancia de lomeríos bajos con marcadas pendientes ( $>30^\circ$ ) y con la formación de pequeñas cuencas hidrológicas con cauces de bajo orden (García-Oliva, 1992).

Estas cuencas se caracterizan por su complejidad en la morfología de las laderas. Galicia (1992) trabajando en una pequeña cuenca de 3<sup>er</sup> orden, determinó las siguientes formas dominantes:

1. Laderas con curvatura concavo-convexa. Longitud de ladera larga (164m - 89m), con varios rompimientos de pendiente (entre 7 y 4) y una marcada inclinación ( $40^\circ$ ).

2. Laderas con curvatura convexa. Longitud de ladera larga (124m - 94m) con rompimientos de pendiente (entre 8 - 5) y pendientes de  $77^\circ$  a  $57^\circ$ .

3. Laderas con curvatura convexa. Longitud de ladera corta (76m - 100m), con pocos rompimientos de pendiente (4) y una inclinación de  $20^\circ$ .

4. Laderas con curvatura lineal-convexa. Longitud de ladera corta (52m - 28m), pocos rompimientos de pendiente entre (5 y 3) y una marcada inclinación ( $40^\circ$ ).

5. Laderas con curvatura lineal. Longitud de ladera relativamente corta (68m - 41m), pocos rompimientos de pendiente (5 y 3) y una inclinación entre  $6^\circ$  y  $8^\circ$ .

Morfológicamente las unidades de ladera presentan tres elementos principales (García-Oliva, 1992):

i) Las crestas que corresponden a las partes superiores relativamente planas con una inclinación promedio entre  $6^\circ \pm 3.9^\circ$ .

ii) Las laderas que representan las zonas de arrastre más importante, con una marcada inclinación de pendiente ( $23.5^\circ \pm 4.5^\circ$ )

iii) Los pies de ladera que son zonas de acumulación de sedimentos con una pendiente promedio de  $11.1^\circ \pm 9.4^\circ$ .

**POBLADOS**

- Menos de 2500 hab.
- De 2500 a 10 000 hab.
- De 20 001 a 50 000 hab.
- De 50 000 a 100 000 hab.
- Capital del Estado

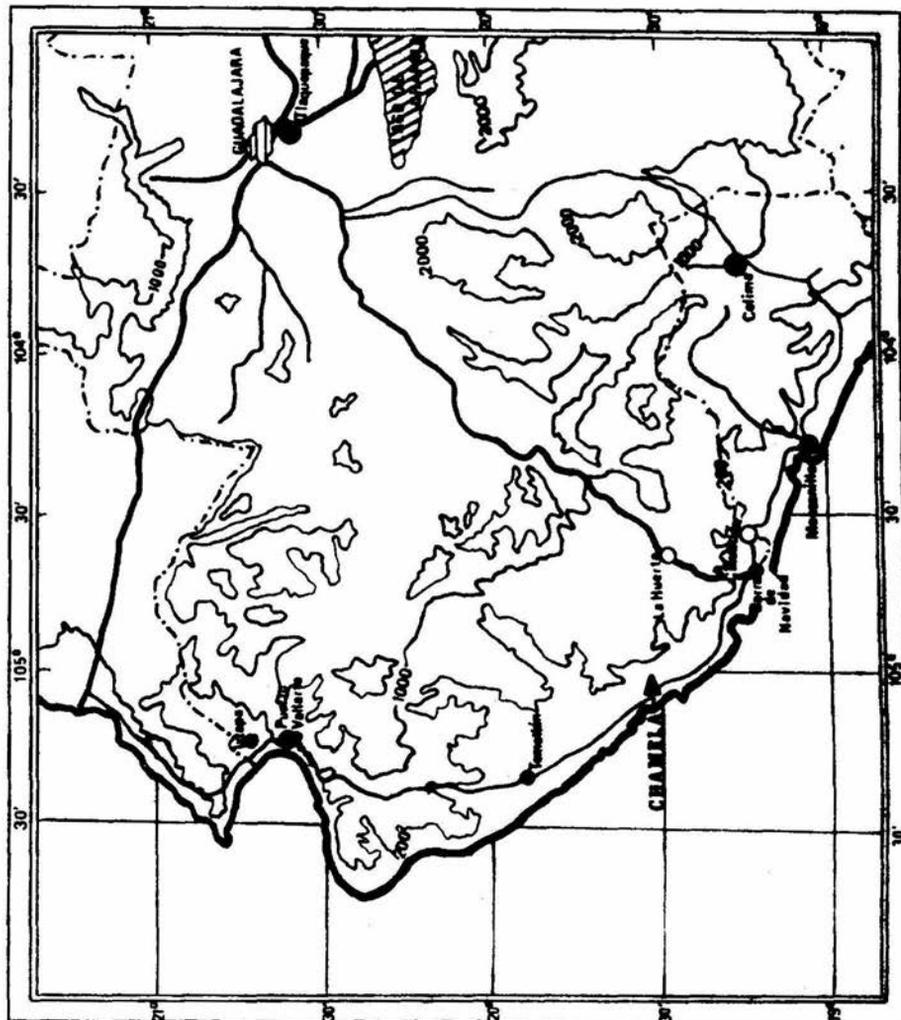
**VIAS DE COMUNICACION**

- Carretera pavimentada
- - - - - troncal
- Carretera pavimentada
- Curva de nivel
- Lago
- - - - - Límite estatal

KILOMETROS



**Mapa de localización de la zona de estudio**



**Fig. 2**

## SUELOS

Los suelos son someros predominando aquellos con una profundidad de 10 a 15 cm. De acuerdo a la clasificación del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, Soil Taxonomy, 1975) los suelos se ubican dentro del Orden Entisol, suborden Orthents (Solís, 1993).

Son suelos con textura migajón arenosa, con un alto contenido de arenas (70 al 80%) y poco de limos (5 al 20%). La densidad aparente es de 0.95 al 1.10 g cm<sup>-3</sup> y contenidos de materia orgánica entre 2 y 6% (García-Oliva, 1992; Solís, 1993). Tienen una alta porosidad (45 al 70%) y consecuentemente una baja capacidad de retención del agua (entre 20 al 30%, Galicia, 1992). Las características físicas de los suelos en el sitio de muestreo se encuentran en el apéndice I.

La distribución espacial de las propiedades físicas del suelo está influenciado por las formas del relieve. Galicia (1992) observó que existe una regionalización de las características físicas de los suelos dentro de una cuenca, de acuerdo a la distribución espacial de la morfología de ladera. Entre las características físicas que respondieron a este ordenamiento fueron la profundidad, la textura y la capacidad de retención del agua.

Esto último obedece al movimiento del agua dentro y fuera del perfil del suelo. García-Oliva (1992), encontró que en laderas de mayor inclinación dominan las arenas como resultado del proceso de erosión. En este sitio se han reportado tasas promedio de erosión de 13.65 ± 1.9 tha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> con cobertura natural (García-Oliva, 1992).

En cambio, la distribución espacial de la densidad aparente del suelo, porosidad, pH y materia orgánica no tienen una relación muy clara con la estructura del relieve, dependiendo más de factores bióticos (Galicia, 1992).

## CLIMA

El clima se clasifica como tropical subhúmedo, siendo el más seco de los cálidos.

La temperatura media anual es de 24.9°C. Siendo Enero el mes más frío con temperatura promedio de 20°C y el más cálido es Agosto con un promedio de 27°C (Bullock, 1986).

## PATRON DE LLUVIAS

La Costa Central del Pacífico se puede dividir en cuatro zonas, cada una presenta su propio patrón de lluvias. El nivel de probabilidad de las lluvias es diferente en cada zona, debido a la influencia de los ciclones tropicales del Pacífico. Esta influencia se refleja en la precipitación anual, en la estacionalidad y en la marcha mensual de la lluvia (García-Oliva, et al, 1991).

La probabilidad de la incidencia de ciclones a lo largo de la Costa Central del Pacífico no es uniforme. Jáuregui (1987) señala tres zonas con diferente probabilidad de incidencia: las zonas con alta incidencia entre Topolobambo y Puerto Vallarta (50%), zonas intermedias entre Manzanillo y Acapulco (29%) y de baja incidencia entre Puerto Vallarta y Manzanillo (21%). La influencia de la Corriente fría de California explica estas diferencias. Esta corriente modifica la dirección de los ciclones y es más importante su efecto en Septiembre y Octubre a los 20° N debido al calentamiento del agua del mar en esta latitud (Jáuregui 1987).

La temporada de lluvias se presenta de Junio a Octubre (Figura 3) con una precipitación media anual de 748 mm, la cual se concentra en los meses de verano (Bullock, 1986).

El patrón de lluvias en esta región está afectada por dos elementos principalmente: la influencia de los Vientos Alisios y la influencia del ciclón del Pacífico. Los Vientos Alisios explican en parte, las lluvias de verano de Junio y Julio en el área. Los ciclones tropicales, sin embargo tienen una crucial importancia en determinar la precipitación anual (Jáuregui 1967, 1987). Esto ocurre algunas veces en Junio y Julio, pero principalmente en Agosto, Septiembre y Octubre. Debido a que los factores que determinan la incidencia de ciclones son muy irregulares, el patrón de lluvias en la costa viene fuertemente influenciado por un elemento aleatorio (García-Oliva, 1992).

La mayoría de las tormentas en Chamela son de baja cantidad y duración, el 62% de las tormentas fueron menores a 8mm y el 57% duraron menos de 90 min. El patrón de lluvias depende de pocas tormentas provocadas por los ciclones tropicales (el 16% de las tormentas concentró el 80% de la precipitación anual), (García-Oliva, op cit).

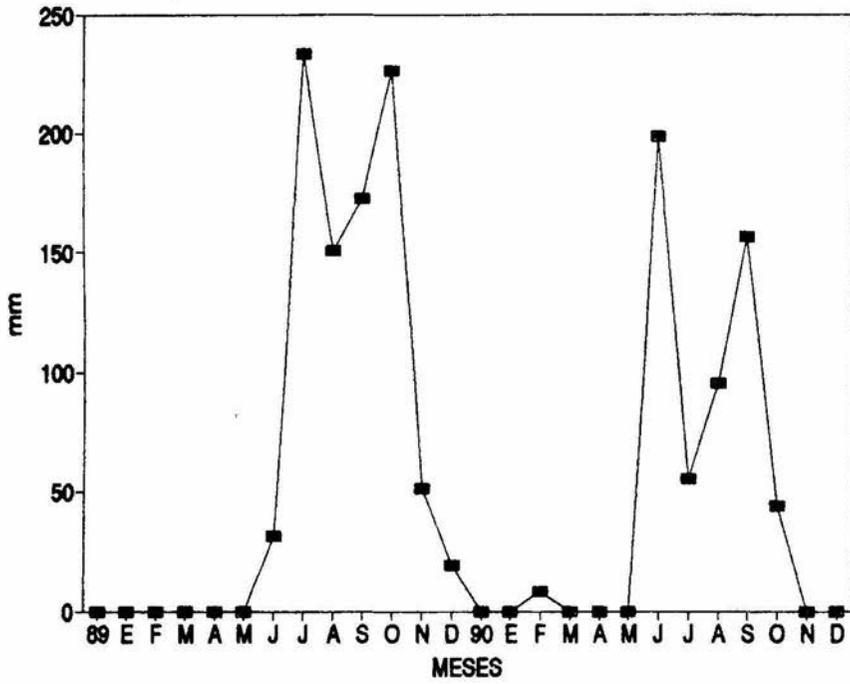


Fig. 3 Precipitación mensual registrada en los años 1989-1990 en Chamela, Jalisco.

## HIDROLOGIA

Durante la época lluviosa el cauce principal lo constituye el Río Chamela, cuyos tributarios son el arroyo El Zarco y el arroyo El Colorado; estos escurrimientos son intermitentes y presentan su mayor caudal en la época lluviosa del mes de Septiembre.

López (1992) en su estudio sobre escorrentía en cinco cuencas en Chamela, encontró que los valores promedio de lámina anual escurrida y porcentaje de lluvia anual escurrida ( 31 mm y 4%, respectivamente) son de los más bajos encontrados en zonas tropicales. Estos valores son resultado de la elevada capacidad de infiltración, la intercepción por parte de la vegetación y la gran evapotranspiración. La alta infiltración se explica por la textura arenosa del suelo (Cervantes *et al*, 1988). La vegetación intercepta el 30% de la lluvia mensual en los meses húmedos (Cervantes *et al*, *op cit*) y la intercepción por la hojarasca debe jugar un papel muy importante (López, 1992). Por último Barradas y Fanjul (1985) estimaron que la evapotranspiración puede llegar a ser del 90% con respecto a la precipitación anual.

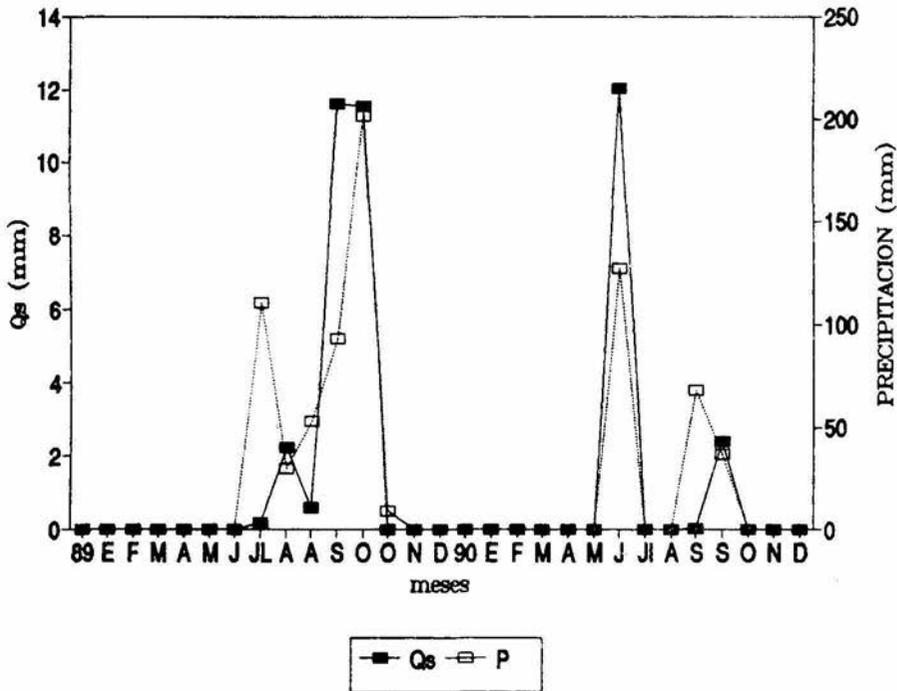
López *op cit*, señala que las variables que explican la relación lluvia-escurrimiento, a nivel evento, son la precipitación y la humedad antecedente del suelo, siendo la precipitación el factor que explica la mayor parte de la variación (Fig.4). Los resultados que obtuvo parecen indicar la existencia de un "umbral" a partir del cual, las cuencas tienen una relación lluvia-escurrimiento, este "umbral" se presenta cuando los valores de la precipitación e IPA (índice de precipitación antecedente) están alrededor de los 200 y 100 mm respectivamente.

## VEGETACION

En el área predominan dos tipos de vegetación, según la clasificación de Miranda y Hernández (1963) la selva baja caducifolia y la selva mediana sub caducifolia.

La selva baja caducifolia es el tipo dominante y se ubica en las laderas y partes altas de las lomas. En este tipo de vegetación los árboles tienen alturas entre 5 y 12 metros.

Su característica más sobresaliente la constituye la pérdida de sus hojas durante un período de 5 a 8 meses, así las dos fisonomías estacionales son diferentes, por un lado el aspecto gris de la época seca la cual contrasta de manera extraordinaria con la apariencia verde y espesa de la estación lluviosa.



3. 4 Comportamiento de la Qs (escorrentía) en relación a la precipitación por mes (P) en los años 1989-1990, para la Cuenca 3, datos de López, 1992. (ver localización de las cuencas en la Fig. 6).

La pérdida de hojas afecta la gran mayoría o a menudo la totalidad de los componentes de la comunidad y aunque la caída del follaje no es necesariamente simultánea para las diferentes especies, son muchos los meses durante los cuales se mantiene la fisonomía correspondiente a la estación seca.

En cuanto a su estructura, lo más frecuente es que haya un solo estrato arbóreo, aunque puede haber también dos. El desarrollo del estrato arbustivo varía mucho de un sitio a otro, al menos parcialmente, en función de la densidad del dosel arbóreo y cuando este es muy espeso puede haber condiciones de verdadera penumbra a nivel del suelo durante el período lluvioso.

La selva mediana subcaducifolia se ubica en las partes bajas de los lomeríos y a orillas de los arroyos. En este tipo de vegetación los árboles tienen una altura entre 10 y 25 metros, durante el período seco pierden sus hojas en porcentajes que varían del 75 al 90% (Lott et al, 1987).

Se distinguen tres estratos:

- i) arbóreo superior de 15 a 25 metros de altura
- ii) arbóreo inferior de 7 a 15 metros de altura
- iii) herbáceo-arbustivo, presenta alturas menores a 5 metros.

Las especies arbóreas más frecuentes son: *Thouinidium decandrum*, *Astronium graveoleng*, *Brosimum allocastrum* y *Sideroxylon capiri* (Lott, 1985).

El estrato dominante es el arbóreo-arbustivo, con dos alturas (7-15 m) y (4-8 m) este último se comporta algunas veces como estrato arbustivo (Solís-Magallanes, 1980).

En lugares poco perturbados el estrato herbáceo se encuentra poco desarrollado y generalmente sólo se manifiesta en la época de lluvias.

La selva mediana subcaducifolia es una comunidad densa y cerrada y su fisonomía en la época lluviosa a menudo es comparable con la de la selva alta perennifolia.

Los elementos del estrato superior comúnmente tienen troncos derechos y esbeltos que no se ramifican en la parte inferior de la planta y el diámetro de la copa suele ser mucho menor que la altura total del árbol. Los diámetros de los troncos pocas veces sobrepasan 1 m y generalmente oscilan entre 30 y 80 cm.

En el follaje predominan coloraciones verde oscuras, pero algunas tonalidades claras también son comunes. En cuanto al tamaño de las hojas el más frecuente corresponde a la categoría de mesofilia de la clasificación de Raunkiaer, habiendo también árboles de foliolo muy pequeño de la familia *Leguminosae*. Sus bordes por lo general son enteros.

En general, la mitad o más de la mitad de los árboles es de hoja caduca, pero muchos lo son en forma facultativa de tal manera que la intensidad y el largo de la sequía de un determinado año se reflejen a menudo, en el grado de defoliación y en la duración del período de carencia de hojas. Este período puede ser de 1 a 4 meses y en su transcurso la vegetación presenta una alternancia de plantas sin y con hojas, con diferentes tonalidades de verde y a menudo también de otros colores.

La época de floración de la mayor parte de los árboles de esta comunidad coincide con la estación seca del año y con el período de defoliación parcial.

Las trepadoras leñosas pueden ser muy abundantes y variadas en algunos tipos de la selva baja subcaducifolia y en general su frecuencia aumenta en situaciones protegidas y en cañadas.

De las 107 familias registradas en la zona y sus alrededores 29 de las 749 especies reportadas representan el 76.9%.

Las familias más importantes son *Leguminosae* la cual representa al 15.3% del total con 110 especies, *Euphorbiaceae* con el 8.7% representadas por 66 especies y la familia *Gramineae* un 4% con 30 especies (Lott, 1985).

## PRODUCTIVIDAD

Las variaciones temporales del mantillo están relacionadas con la estacionalidad de la caída de hojarasca y de la descomposición, ambas afectadas por la estacionalidad de la temperatura y precipitación. En un clima estacional, durante el período de sequía, la tasa de caída de hojarasca aumenta y la tasa de descomposición disminuye. En oposición a lo que ocurre en la época de lluvias. Esto trae consigo que el espesor del mantillo se incremente y decremente cíclicamente (Madge, 1965; Swift et al, 1981).

Martínez-Yrizar (1980, 1984) encontró que la tasa de descomposición de materia orgánica foliar varía entre especies, aún bajo condiciones favorables de humedad y temperatura, y sugiere que las características de morfología foliar de las especies explican en partes las diferencias de descomposición observadas.

Patifio (1990) registra la cantidad total de mantillo por cuadro, así como el promedio total de los siete cuadros, el cual fue de  $7642 \pm (2E) 228 \text{ kg ha}^{-1}$  con un rango de 7052 a  $8188 \text{ kg ha}^{-1}$  (Cuadro 3).

La diferencia entre el valor más alto y el más bajo de la CTM en los cuadros fue considerable (cerca de  $1136 \text{ kg ha}^{-1}$ ).

Según Patifio (1990), estas variaciones en la cantidad total del mantillo se deben a diferencias tanto en la estacionalidad de la producción de hojarasca como en la tasa de descomposición de cada sitio. Esta última controlada entre otros factores por el contenido de humedad en el suelo.

El total de mantillo para la ladera norte fue en promedio de  $8687 \pm 336 (2ES) \text{ kg ha}^{-1}$  y para la ladera sur fue de  $6597 \pm 282 (2ES) \text{ kg ha}^{-1}$ . La diferencia en la cantidad total de mantillo entre las dos laderas fue en promedio de  $203 \text{ kg ha}^{-1}$ . (Patifio, op cit).

En términos generales la acumulación de mantillo total en los 7 sitios aumentó a medida que se inició el periodo de sequía, hasta un valor máximo que se presentó al inicio del periodo de lluvias (Junio) o en Septiembre. Conforme la estación húmeda progresó la cantidad de mantillo comenzó a disminuir hasta un valor mínimo que coincidió con las últimas lluvias en noviembre o con el inicio del periodo de sequía en enero (Patifio, op cit).

CUADRO 3.

Cantidad total de mantillo (CTM) en  $\text{kg ha}^{-1}$  en los 7 cuadros de las cuencas de la Estación de Biología, Chamela de mayo 1982- mayo 1983. ES (error estandar),  $n=168$ . Los valores seguidos por la misma letra no difieren estadísticamente (Patiño, 1990).

CUADRO	CTM	2ES
1	8188 a	653
2	7933 a	598
3	7996 a	586
4	7103 b	612
5	7688 ab	485
6	7052 b	609
7	7536 ab	646
PROMEDIO	7642	228

## METODO

Existen ciertos métodos indirectos para medir alguna propiedad del suelo que sea afectada por el contenido de humedad o por alguna propiedad de un objeto ubicado en el suelo, estos objetos generalmente son de materiales porosos absorbentes.

Gardner (1986) señala que la capacidad eléctrica y la conductividad eléctrica de los materiales porosos varía en relación al contenido de agua. Un método para medir la conductividad eléctrica en el suelo es mediante el uso de los bloques porosos con terminales eléctricas, cuyos electrodos son introducidos al suelo.

Cuando estos bloques alcanzan un equilibrio con el suelo que los rodea, por ejemplo, al cesar el flujo de agua dentro o fuera de los bloques, sus propiedades eléctricas pueden ser usadas como un índice del contenido de agua en el suelo. El contenido de agua en el suelo puede obtenerse de una curva de calibración, la cual se elabora usando el suelo del sitio en donde se colocaron los bloques. Esto se debe a que el equilibrio entre un bloque de yeso y el suelo, es un equilibrio del potencial mátrico y no un equilibrio del contenido de agua. Cada suelo tiene diferente contenido de agua contra una curva de potencial mátrico. Por ejemplo, un suelo arenoso puede tener un contenido de agua de 5% a -1.5 MPa de potencial mátrico. En cambio, un suelo arcilloso puede tener un contenido de agua del 13% al mismo potencial. Es por ello que la calibración de un bloque poroso contra el potencial mátrico frecuentemente puede ser considerado más razonable y de mayor utilidad que la calibración contra el contenido de agua.

Dentro de los bloques porosos existe una gran variedad de materiales, los más comunes son de yeso. Para la toma de muestras del presente estudio se elaboraron cubos de yeso tipo Bouyoucos.

Aún con la baja precisión de los bloques de yeso como indicadores del contenido de agua en el suelo, su uso popular probablemente se deba a su utilidad como indicadores de las condiciones de agua favorables y desfavorables para el crecimiento de las plantas (el potencial mátrico se opone al contenido de agua) antes que a su capacidad como indicador del contenido de agua en el suelo (Gardner, op cit ).

Los cubos de Bouyoucos son más sensibles a tensiones de 1 a 15 atmósferas. Sin embargo, el límite para medir la tensión no es un serio problema como podría pensarse en primera instancia, a pesar que el rango de tensión de 0 - 8 bares, es para una pequeña parte del rango total de la variación en el campo, este generalmente abarca gran parte del rango de humedad del suelo ( Hillel, 1980 ).

## Curva de calibración

La relación entre la disponibilidad de agua por las plantas y el contenido de agua en el suelo se obtiene por medio de una curva de calibración. La curva caracteriza la humedad del suelo y es esencialmente una curva de calibración que permite una determinación gravimétrica del agua al ser convertidos a  $p_h$  potencial mátrico (Jeffrey, 1987).

La relación entre el contenido de agua en el suelo y la absorción del agua por el mismo, es una parte fundamental para la caracterización de las propiedades hidráulicas del suelo. Esta relación es definida en la literatura por varios nombres, como la función de retención de agua o humedad característica.

El potencial de agua en el suelo puede ser expresado en unidades de energía por unidad de masa, energía por unidad de volumen o energía por unidad de peso del agua en el suelo. La energía por unidad de volumen es dimensionalmente equivalente a la fuerza por unidad de área presión. La energía por unidad de peso tienen dimensiones de longitud. La presión es así expresada como la longitud de una columna de una densidad dada. El fluido es usualmente agua a la temperatura ambiente de el sistema agua suelo.

El método tradicional para determinar la retención de agua involucra el establecimiento de una serie de equilibrios entre el contenido de agua del suelo en el sitio de muestreo y un cuerpo de agua de un potencial conocido. El sistema suelo-agua se da por un contacto hidráulico con el cuerpo de agua a través de una placa porosa o una membrana. Por cada equilibrio, el contenido volumétrico de agua  $\bar{U}$ , de el suelo se determina a la par con el potencial mátrico  $p_m$  determinado de la presión con el cuerpo de agua y la presión de la fase gaseosa en el suelo. El dato del par ( $\bar{U}$ ,  $p_h$ ) es un punto sobre la función de retención. La curva de humedad se obtiene por el equilibrio de la humedad de las muestras de un bajo contenido de agua o una baja presión lo cual nos da el primer punto para la curva y así los siguientes equilibrios alcanzados nos proporcionarán los puntos siguientes para trazar la curva.

Para realizar la curva de calibración se hicieron muestras compuestas, 120 en total ya que los análisis de lectura indicaron que los suelos eran muy semejantes.

Se determinaron tres variables: cuadro, ladera y profundidad. De tal manera que la muestra marcada #1 corresponde a la mezcla de los suelos 1 y 3 (cuadro 3, cuenca 1, parte baja y alta de la ladera izquierda y superficiales ambos) y la marcada con el #2 corresponde a los suelos 2 y 4 (parte baja y alta de la ladera izquierda y profundos ambos).

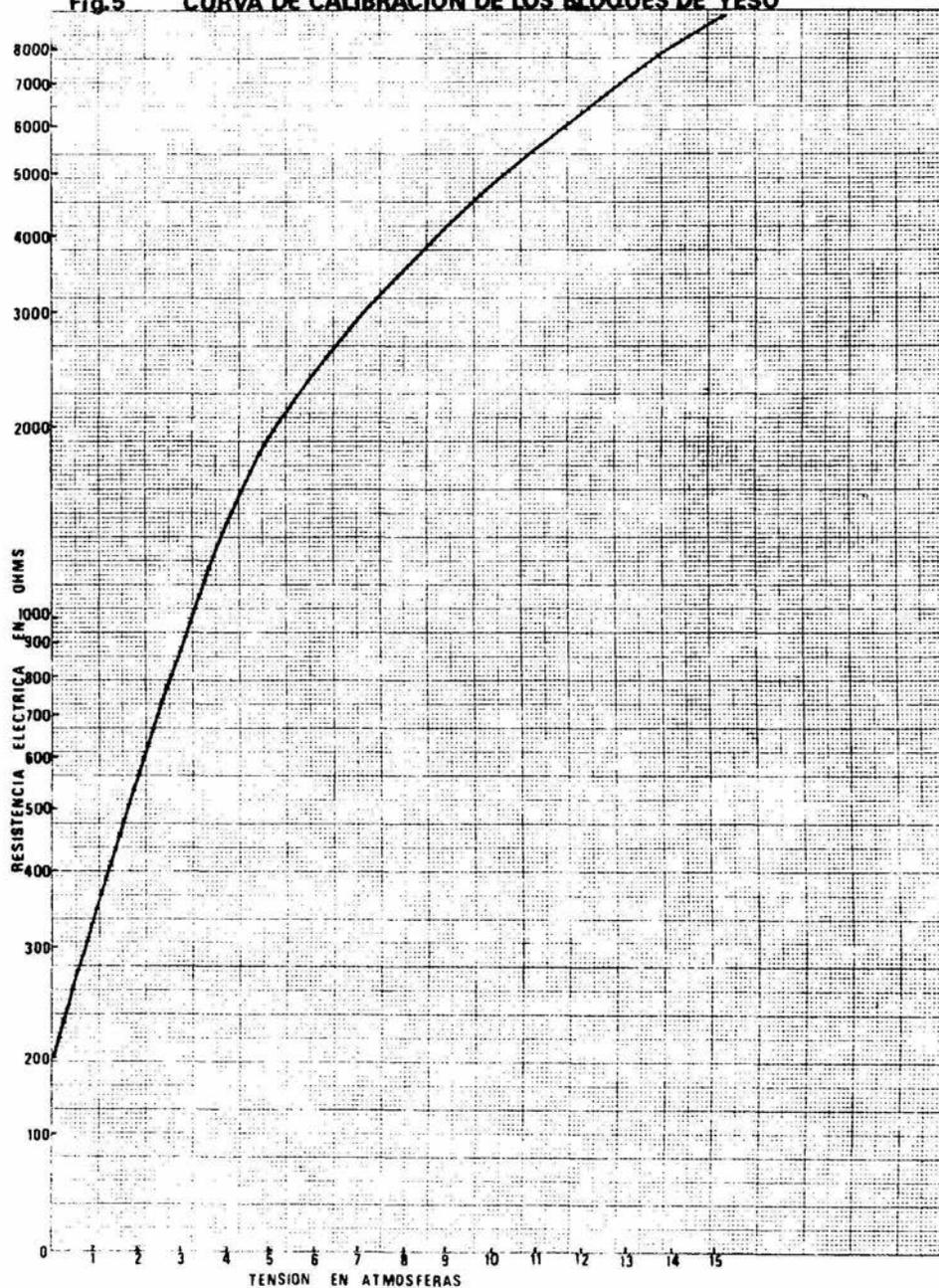
CUADRO 1. DISTRIBUCION DE LAS MUESTRAS QUE SE USARON PARA LA CURVA DE CALIBRACION

CUENCA 1, CUADRO 3		CUENCA 1, CUADRO 2		CUENCA 1, CUADRO 1	
1	3	5	7	9	11
2	4	6	8	10	12
CUENCA 2		CUENCA 3			
13	15	17	19		
14	16	18	20		
CUENCA 4		CUENCA 5			
21	23	25	27		
22	24	26	28		

Se colectaron 9 muestras de suelo (5 por cuadro y 4 por ladera). Las colectas se realizaron a un lado de los bloques de yeso. Es decir la muestra de suelo #1 corresponde a los bloques 1 y 3 (superficiales) la muestra #2 corresponde a los bloques 2 y 4 (profundos). Por lo tanto las muestras marcadas con números impares corresponden a suelos superficiales (0-10 cm) y las marcadas con números pares a suelos profundos (20-30 cm). Después de haber sido colectados, los suelos se secaron al sol y se tamizaron.

La curva de calibración la realizaron José L. Jaspeado y Victoria Philips en el Colegio de Posgraduados. (Fig.5)

Fig.5 CURVA DE CALIBRACION DE LOS BLOQUES DE YESO



**CUADRO 2. DISTRIBUCION DE LOS CUBOS DE BOUYOUCOS POR CUADRO Y CUENCA**

CUENCA 1, CUADRO 3		CUENCA 1, CUADRO 2		CUENCA 1, CUADRO 1	
3	1	5	7	11	9
4	2	6	8	12	10
13	15	19	17	21	23
14	16	20	18	22	24
CUENCA 2		CUENCA 3			
27	25	29	31	35	33
28	26	30	32	36	34
37	39	38	40		
CUENCA 4		CUENCA 5			
43	41	45	47	51	49
44	42	46	48	52	50
53	55	54	56		

En la Fig. 6 se ve la relación entre la tensión y el porcentaje de humedad del suelo para dos cubos. Como se observa cada cubo tiene umbrales distintos, dependiendo de sus características físicas.

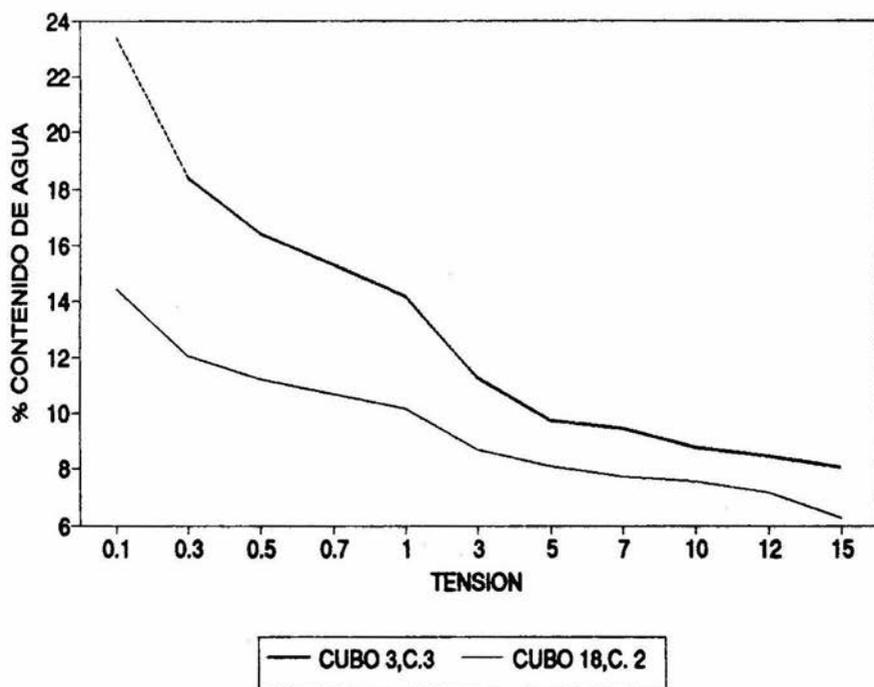


Fig. 6 Curva de esfuerzo de humedad del suelo donde se muestra la relación entre la tensión y el porcentaje de humedad del suelo. C3 es el cuadro bajo y C2 cuadro medio de la Cuenca 1.

## Lecturas de campo

Se tomaron datos de resistencia eléctrica en cada uno de los cubos distribuidos en los 7 cuadros ( total de 112 cubos ) para 1989 y 1990 (Fig.7 y 8). El registro de los datos se relaciona con la presencia de eventos de lluvia para cada uno de los años.

## Manejo de datos

Los datos de resistencia obtenidos en campo, se transformaron a valores de tensión con la siguiente fórmula:

$$\text{Sen (res) x 1000 = tensión}$$

Una vez transformados los datos a tensión, se determinó su equivalente en contenido de humedad mediante la curva de calibración (Fig.5) la cual nos proporciona el dato en porcentaje.

Mediante el uso del diagrama de distribución de los cubos se ordenó la base de datos de acuerdo a su profundidad, orientación y distancia respecto al cauce ( Apéndice III ).

Una vez realizado el ordenamiento, se calculó la media aritmética para cada variable agrupándolos en forma mensual. Los valores utilizados para la construcción de las gráficas fueron las medias máximas obtenidas por mes.

De acuerdo a la variabilidad de cada factor, solo se escogieron aquellos en donde se veía una menor varianza entre grupos de cada factor. De ahí que se escogieran los niveles de cuadro, profundidad y orientación. De cada uno de estos niveles se analizó su marcha mensual.

Se realizaron regresiones entre el contenido de humedad del suelo y la precipitación mensual, para poder agrupar los cuadros de acuerdo a su relación con el patrón de lluvia.

## Datos de lluvia

Los datos de lluvia utilizados para este trabajo, fueron los registrados en la Estación de Biología de Chamela, Jalisco. El período comprendió los años 1989-1990.

Los registros se procesaron para calcular la precipitación mensual y graficar los datos de manera que nos permitiera conocer la marcha anual de la lluvia, y así establecer el patrón de las lluvias en este período.

Por otra parte se determinó la concentración mensual de la lluvia, para conocer la posible disponibilidad de agua en el suelo, así como los posibles flujos superficiales. Esta se definió con la siguiente fórmula:

$$\text{CMP} = \frac{\text{Precipitación mensual}}{\text{Núm. días con lluvia}}$$

CMP- concentración mensual de la precipitación

Se determinó la cantidad de lluvia registrada por fecha de tormenta, así como el porcentaje que representaba respecto al total en el mes; esto con el fin de conocer la distribución de las lluvias en el mes y poder inferir con ello, la respuesta del suelo a la distribución de la precipitación.

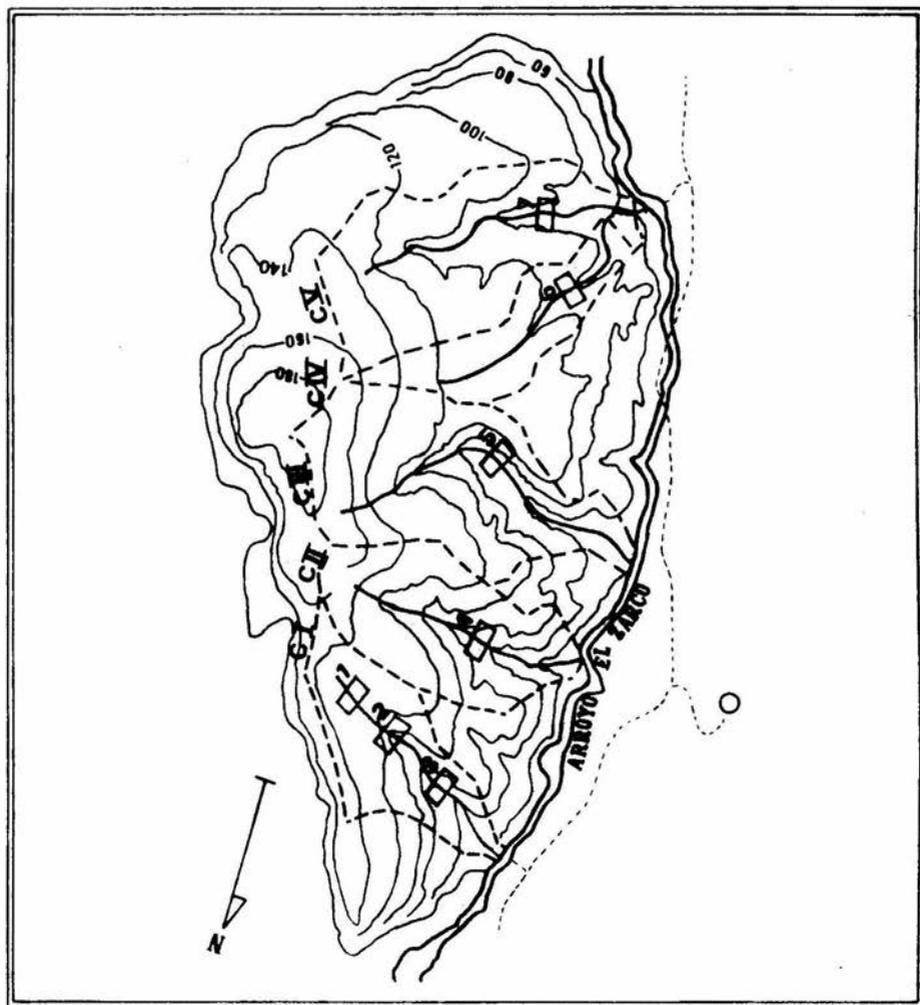


Fig.7

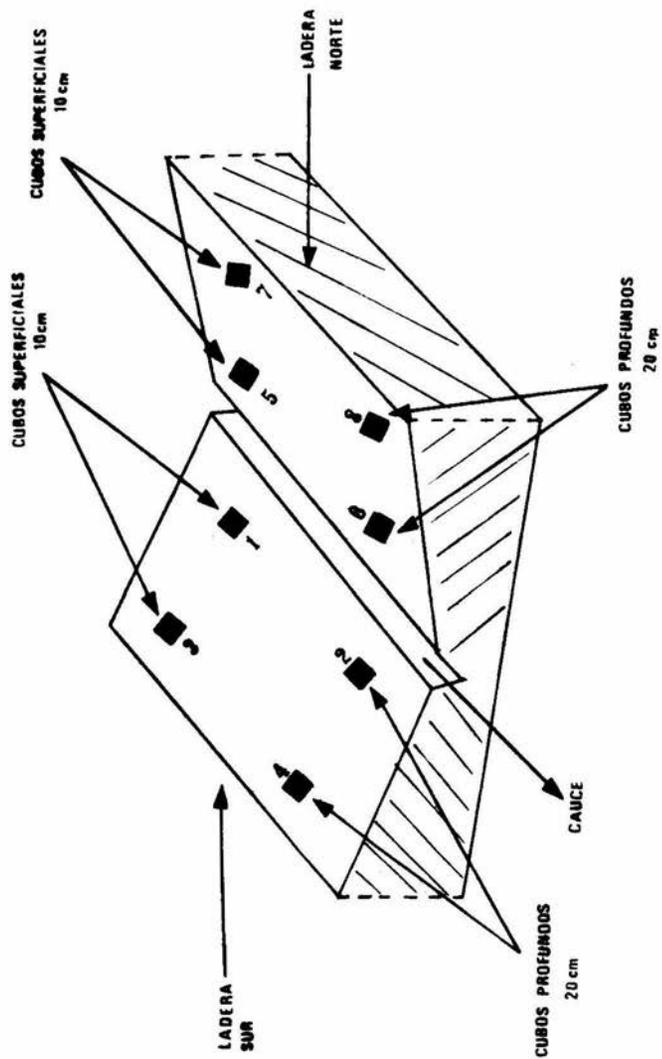


Fig.8 Diagrama de un cuadro de muestreo con la distribución de cubos en campo

## RESULTADOS

### PRECIPITACION

#### 1. Estacionalidad

La cantidad de lluvia anual registrada para los dos años de estudio fueron de 896.5 mm para 1989 y de 565.2 mm para 1990, siendo el año de 1989 1.5 veces mayor que 1990, lo cual nos indica que en este año el aporte de agua fue mayor a 1990.

Para 1989 los eventos de lluvia comenzaron en Junio y finalizaron en Diciembre, de los cuales los meses de mayor precipitación fueron Julio-Octubre (Fig.3).

La estación lluviosa para el año 1990, se presentó de Junio a Octubre. Siendo los meses de mayor precipitación Junio y Septiembre (Fig.3).

La distribución de las lluvias para los dos años presentó un comportamiento diferente. El año de 1989 presentó la estación lluviosa bien definida por los meses de Julio a Octubre resultado que coincide con lo reportado por Bullock, (1986). En cambio, 1990 registró al inicio de la estación lluviosa (Junio) la mayor precipitación del año (198.4 mm) la cual debió proporcionar un abastecimiento de agua importante en el suelo debido a la condición del mismo (es decir su bajo nivel de humedad). Sin embargo la temporada de lluvias fue muy corta y de bajos registros de precipitación. Por ello se espararía que el abastecimiento de agua en el suelo sea más importante en 1989.

#### 2. Distribución de la precipitación en los meses lluviosos

En 1989, el mes con más lluvia (233.5 mm) fue Julio, la cual se distribuyó en 12 días (Cuadro 4). En contraste, Octubre presentó 226.7mm en sólo cinco días. Esta diferencia de la concentración mensual de la precipitación (CMP), nos puede servir como índice de las características de la precipitación mensual y en consecuencia de la "eficiencia de la precipitación". Esta eficiencia entendida como el porcentaje de la precipitación que puede ser disponible por las plantas.

Los meses que presentan valores altos de CMP van a ser meses con tormentas de mayor intensidad y mayor escorrentía. García-Oliva (1992) encontró que existe una relación directa entre la cantidad e intensidad de lluvia por evento, por lo que los meses con lluvia concentrada en pocos días, son reflejo de presencia de eventos intensos de lluvia. En contraste, los meses con CMP bajos, la lluvia va a estar distribuida en un mayor número de días, por lo que van a obedecer a eventos menos intensos y van a permitir una mayor infiltración.

Los valores de CMP dependen del tipo de tormentas presentes en el mes. García-Oliva (1992) encontró que existen dos tipos de tormentas principales: las lluvias convectivas y las ciclónicas. Las primeras se caracterizan por ser menos intensas y de poca cantidad. Las segundas son más intensas y con mayor cantidad de agua. Cuando tenemos valores altos de CMP es que hubo dominancia de ciclones, mientras que cuando hay valores bajos, tenemos la dominancia de lluvias convectivas.

Por ejemplo en 1989, los meses de Octubre y Noviembre presentaron los valores más altos de CMP (45.3 y 51.2 mm día<sup>-1</sup>, respectivamente) correspondiendo a los meses con mayor influencia ciclónica (Jáuregui, 1987). En cambio, Julio presenta el valor más bajo para ese año, a pesar que tuvo una precipitación semejante a Octubre. Julio es un ejemplo donde dominan las lluvias convectivas influenciadas por los Vientos Alisios, típicos de esta temporada del año.

Por lo anterior los últimos meses de la temporada de lluvias de 1989, van a ser de mayor intensidad, por lo que va a existir menor infiltración, mientras que a principio del año va a permitir una alta infiltración y por lo tanto una mayor humedad del suelo.

El año de 1990 presenta diferencias de la marcha mensual de CMP con respecto a 1989. En este año, Junio es el que presenta el valor más alto de CMP (Cuadro 4). En este año la influencia ciclónica se presenta en los primeros meses y deja de ser importante al final del año. García-Oliva (1992) analizando el patrón de las principales tormentas, encontró que la influencia ciclónica determina la distribución de la precipitación a lo largo del año, existiendo años con influencia temprana como 1990 y años con influencia tardía como 1989.

En 1990 las diferencias de CMP entre meses no son tan marcadas, por lo que la distribución del agua se concentra principalmente en Junio y Septiembre. Como consecuencia, va a existir poca disponibilidad de agua, por que el 36% de la lluvia anual se presentó en Junio en pocos días.

CUADRO 4. DISTRIBUCION ANUAL DE LA LLUVIA POR MES

AÑO	MES	DIAS CON LLUVIA	DIAS SIN LLUVIA	PRECIPITACION MENSUAL (mm)	CMP* (mm días <sup>-1</sup> )
1989	Jun	4	26	31.3	6.9
	Jul	12	19	233.5	19.5
	Ago	8	23	150.8	18.9
	Sep	10	20	173	17.3
	Oct	5	26	226.7	45.3
	Nov	1	29	51.2	51.2
	Dic	3	28	19.3	6.4
1990	Feb	1	27	8	8
	Jun	5	25	198.4	39.7
	Jul	5	26	55.4	11.1
	Ago	4	26	95.5	23.9
	Sep	6	25	156.6	26.1
	Oct	3	28	43.8	19.7

\*CMP- concentración mensual de la precipitación

### 3. Concentración de la lluvia en las principales tormentas del año

En los Cuadros 5 y 6, se presentan las principales tormentas del período en estudio, las cuales explican los distintos porcentajes relacionados con la precipitación anual. Así mismo nos sugieren la importancia de la concentración de la lluvia en pocas tormentas, que podemos relacionar con la influencia ciclónica presente en Chamela.

Pocas tormentas explicaron la cantidad total anual (Cuadro 2), García-Oliva (1992), encontró que el 50% de la precipitación anual (datos de 1983-1990) dependió del 7 al 19% de las tormentas presentadas en el año y que el 20% estuvo explicado por una o dos tormentas.

La distribución de las tormentas en la temporada de lluvia se concentró en pocos eventos que significan porcentajes altos en relación al mensual, como el caso de Julio 1989 en que una tormenta

significa el 47.3 % del promedio mensual y Octubre en donde se presenta un evento de lluvia que representa el 70.7%.

Si relacionamos estos datos con los obtenidos en el CMP, observamos que al presentarse tormentas con un alto porcentaje de la precipitación mensual el valor del CMP es alto i.e. Oct. 70.7% el valor de CMP fue de 45.3 mm día<sup>-1</sup>.

Por lo anterior observamos que para los años 1989-90 una o dos tormentas representaron el 50 al 60% de la precipitación total mensual. Tomando en cuenta este comportamiento vemos que el patrón de lluvias en Chamela se caracterizó por una estación definida de lluvias en la cual pocas tormentas aportaron la mayor cantidad total mensual, con una fuerte influencia de los ciclones tropicales.

#### 4. Marcha mensual de la humedad del suelo entre cuadros de muestreo.

##### a) Marcha mensual en los primeros 10 cm del suelo

La humedad presentó una marcada estacionalidad. Los valores en la época seca ( Noviembre a Mayo) variaron entre 8.1% y 7.8%. Los valores en la época de lluvias (Junio a Octubre) tuvieron una variación entre 7.8% y 16% (Apéndice IV).

De acuerdo al contenido de humedad, se estableció el siguiente orden:

1989		1990	
+ HUMEDAD	CUADRO 3	+ HUMEDAD	CUADRO 3
	CUADRO 1		CUADRO 6
	CUADRO 4		CUADRO 4
	CUADRO 2		CUADRO 1
	CUADRO 5		CUADRO 5
	CUADRO 6		CUADRO 7
- HUMEDAD	CUADRO 7	- HUMEDAD	CUADRO 2

El cuadro 3 presentó la mayor humedad tanto en sus valores registrados en la estación seca como en la húmeda en ambos años, mientras que los Cuadros 5 y 7 fueron los más secos, sin importar la marcha mensual de la humedad (Fig. 9, 10).

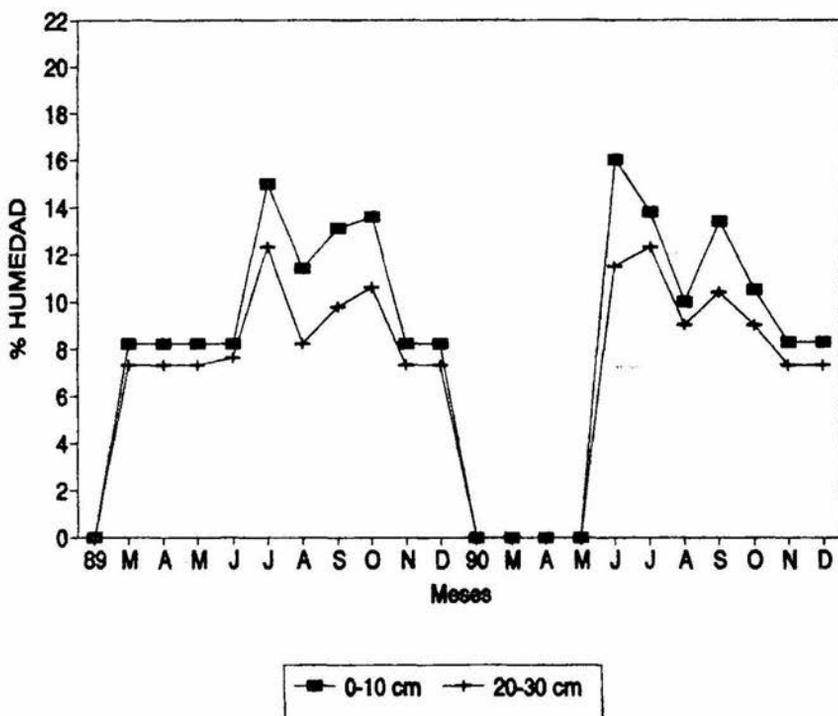


Fig. 9 Distribución mensual de la humedad del suelo a dos profundidades (0-10 cm), (20-30 cm) en el cuadro 3 de la Cuenca 1, para los años 1989-1990.

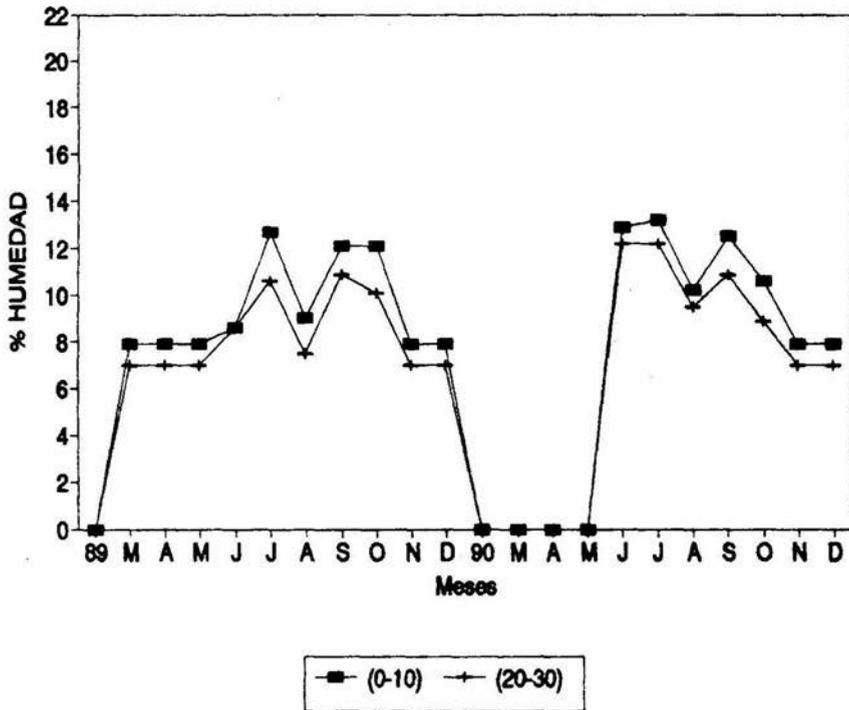


Fig. 10 Distribución mensual de la humedad del suelo a dos profundidades (0-10 cm), (20-30 cm) en el cuadro 5 de la Cuenca 3 para los años 1989-1990.

CUADRO 5. PRECIPITACION POR TORMENTA AÑO 1989

FECHA	NUMERO TORMENTAS	PRECIPITACION (mm)	PORCENTAJE DEL TOTAL MENSUAL
18-Jun	1	20.1	64.2
19-Jun	2	6.5	20.8
22-Jun	1	3.8	12.1
23-Jun	1	0.9	2.9
1-Jul	3	18.8	8.1
3-Jul	1	1.6	0.7
4-Jul	1	1.4	0.6
6-Jul	1	1.5	0.6
10-Jul	1	110.5	47.3
12-Jul	1	0.8	0.3
13-Jul	1	7	3.0
23-Jul	1	0.5	0.2
24-Jul	1	45	19.3
25-Jul	1	11.2	4.8
30-Jul	1	10	4.3
31-Jul	1	25.2	10.8
1-Ago	1	29.4	19.5
2-Ago	1	9.3	6.2
15-Ago	1	15.2	10.1
24-Ago	3	3	2.0
28-Ago	1	16.6	11.0
29-Ago	2	19.4	12.9
30-Ago	1	5.2	3.4
31-Ago	1	52.7	34.9
6-Sep	1	5.1	2.9
7-Sep	1	1.4	0.8
8-Sep	2	4.8	2.8
10-Sep	2	4.3	2.5
11-Sep	2	8	4.6
12-Sep	4	12.9	7.5
15-Sep	1	0.8	0.5
18-Sep	2	12.7	7.3
20-Sep	1	30.2	17.5
21-Sep	2	92.8	53.6
1-Oct	1	160	70.7
2-Oct	4	42	18.5
6-Oct	1	1.2	0.5
8-Oct	1	13	5.7
10-Oct	2	10.5	4.6
19-Nov	5	51.2	100.0
2-Dic	1	3	15.5
4-Dic	2	6	31.1
6-Dic	1	10.3	53.4

CUADRO 6. PRECIPITACION POR TORMENTA AÑO 1990

FECHA	NUMERO TORMENTAS	PRECIPITACION (mm)	PORCENTAJE DEL TOTAL MENSUAL
2-Feb	1	8	100.0
7-Jun	1	32	16.1
15-Jun	1	5	2.5
19-Jun	2	25	12.6
20-Jun	1	9	4.5
22-Jun	1	127.4	64.2
4-Jul	1	2.6	4.7
6-Jul	2	24.7	44.6
8-Jul	1	19.4	35.0
10-Jul	1	5.7	10.3
22-Jul	1	3	5.4
8-Ago	1	57.1	59.8
19-Ago	2	7.9	8.3
24-Ago	1	27	28.3
30-Ago	1	3.5	3.6
7-Sep	1	1.2	0.8
8-Sep	1	8.2	5.2
10-Sep	1	23	14.7
16-Sep	2	72	46.0
17-Sep	1	37	23.6
20-Sep	1	15.2	9.7
2-Oct	1	7.6	17.3
3-Oct	1	12.2	27.9
20-Oct	1	24	54.8

#### Relación entre la precipitación y la marcha de humedad

En la Fig. 11 encontramos que todos los cuadros guardan una relación significativa con la precipitación mensual (PM). Es decir que la PM explica bien la humedad mensual del suelo en cada uno de los cuadros. En cambio no se encontró una relación significativa entre la humedad del suelo y la CPM.

Haciendo la agrupación se obtuvieron tres grupos principales (Fig. 12):

1) El grupo del Cuadro 3 el cual presenta una mayor respuesta a la precipitación. Es decir, que este cuadro sigue muy bien la marcha mensual de la precipitación y es muy sensible a los cambios de humedad con los cambios de la PM.

2) El Cuadro 2 no sigue la marcha de la PM y la respuesta no es tan grande.

3) Cuadros 1,4,5,6 y 7 que no siguen a la marcha de la PM y tienen una respuesta menos fuerte a la precipitación.

En la Fig.11, se observa que el Cuadro 3 sigue muy de cerca a la marcha de la PM. Cuando sube la PM, sube la humedad del Cuadro 3. El Cuadro 2, aunque sigue la marcha de la PM, no es con la misma intensidad que el Cuadro 3, no guarda las mismas proporciones a los cambios de lluvia mensual (i.e. en el mes de Agosto de 1989 y 1990, los valores del Cuadro 2 son inferiores a los registros del Cuadro 3).

En Octubre de 1989 el Cuadro 2 no registró un elevado aumento en la humedad del suelo semejante al alcanzado en el mes de Julio, como lo registraron la PM y el Cuadro 3. Esto lo podemos ver reflejado en la pendiente de la regresión (Fig.13).

Por último el Cuadro 1, en el cual la marcha de la humedad, no es tan cercana a la PM, si observamos la Fig.13, vemos que su respuesta es menos intensa. En el registro del mes de Octubre 1989 (Fig.11), se tuvo un aporte de lluvia de 226.7 mm y este Cuadro presentó la menor humedad con respecto a los otros Cuadros. Por ello se obtuvieron valores de  $R^2$  y de m bajos (Cuadro 7).

El primer mes registrado con humedad se encuentra relacionado con la PM (Fig.11), como observamos el Cuadro 3 en el mes de Julio 1989 alcanza la mayor humedad del año con el 15%, siguiendo la marcha de la PM registrando en Diciembre su valor más bajo con 8.2% correspondiendo a la época de sequía. En 1990, el valor más alto de humedad del suelo se registró en Junio con 16% y el menor en Diciembre con 8.3%.

#### **b) Marcha mensual a los 20 cm del suelo**

Se observaron valores de humedad bajos, que responden en forma menos intensa al patrón de lluvias. Los registros de humedad en la estación seca que comprenden los meses de Noviembre a Mayo variaron entre 6.2% a 8.1%. Mientras que en la estación lluviosa de Junio a Octubre las variaciones fueron entre 7.3% y 15.5% (Apéndice IV).

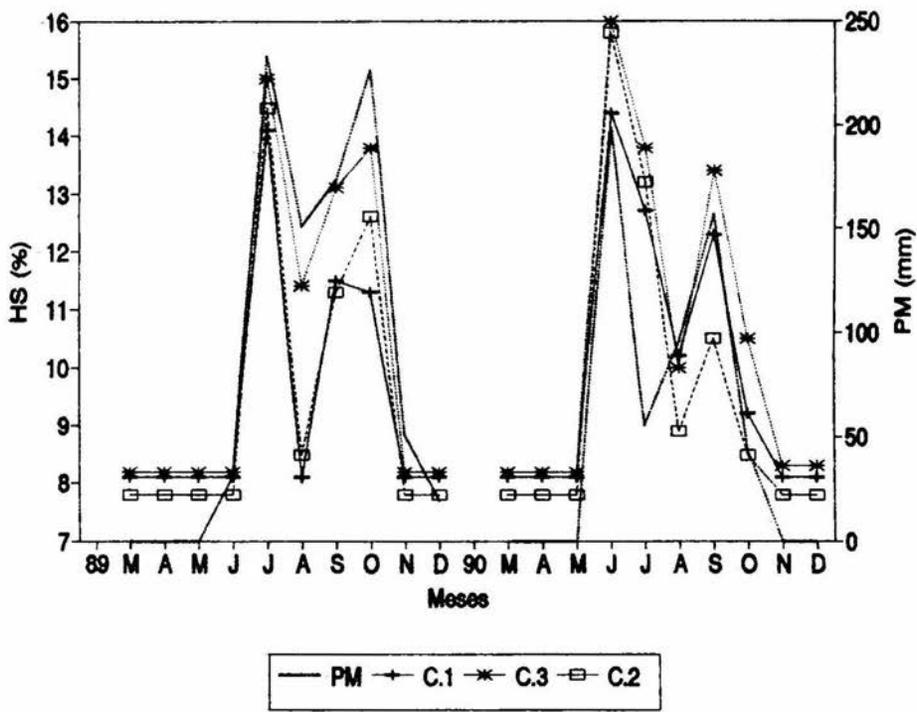


Fig. 11 Relación entre la precipitación mensual (PM) y el porcentaje de humedad del suelo (HS) en los cuadros 1,2 y 3 de la Cuenca 1, para los años 1989-1990 a una profundidad de 0-10 cm.

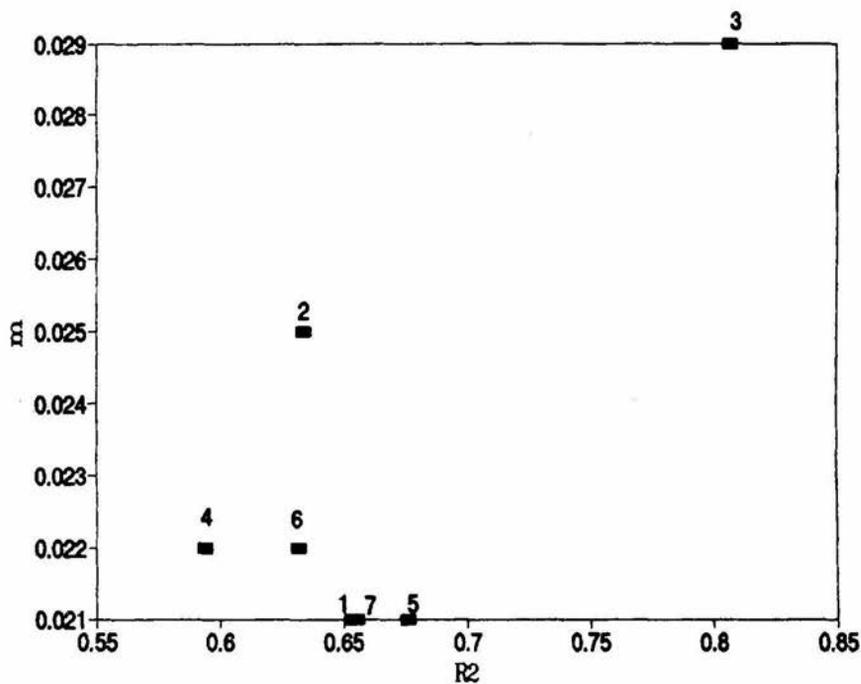


Fig. 12 Relación entre el coeficiente de determinación ( $R_2$ ) y la pendiente ( $m$ ), que muestra la distribución de los puntos de cuadros característicos en la profundidad de 0-10 cm.

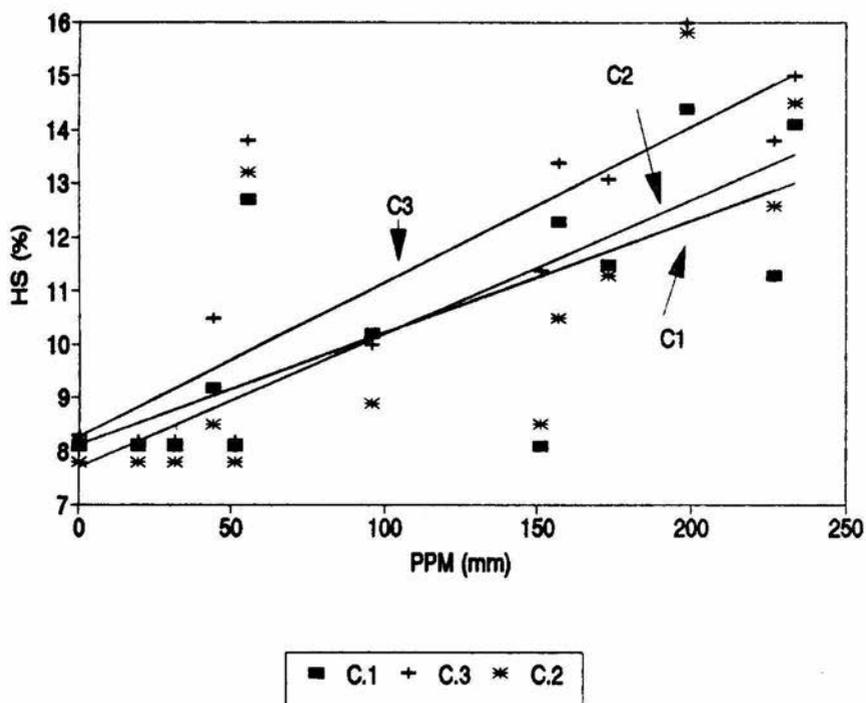


Fig. 13 Regresión entre la precipitación mensual (PM) y la humedad del suelo (HS) de los cuadros 1,2 y 3 de la Cuenca 1 a una profundidad de 0-10 cm.

Estableciendo al igual que en la profundidad anterior un orden de acuerdo al contenido de humedad en el suelo por cuadro tenemos:

1989		1990	
+ HUMEDAD	CUADRO 1	+ HUMEDAD	CUADRO 1
	CUADRO 2		CUADRO 2
	CUADRO 4		CUADRO 6
	CUADRO 6		CUADRO 7
	CUADRO 3		CUADRO 5
- HUMEDAD	CUADRO 5	- HUMEDAD	CUADRO 3
	CUADRO 7		CUADRO 4

En ambos años los registros de humedad más altos se presentaron en el Cuadro 1, mientras que los de menor humedad fueron los Cuadros 3 y 5.

#### Relación entre la precipitación y la marcha de humedad.

Se encontró que la relación entre la precipitación mensual (PM) y la humedad del suelo (HS) si bien es directa no es tan intensa como en la profundidad de 0-10 cm (Fig.14). Se observa que al aumentar PM sube HS, pero este aumento de HS no es proporcional a la cantidad de lluvia registrada.

Agrupando los cuadros (Fig.15) se obtuvieron tres grupos. El primero con los Cuadros 1 y 2 que tienen una fuerte respuesta a la PM, la cual explica la variación de la HS, al aumentar PM aumenta HS. El segundo grupo formado por los Cuadros 3, 4 y 6 explican la variación de la HS pero su respuesta no es tan fuerte en relación a la PM. Y el tercer grupo con los Cuadros 5 y 7, en los cuales la interacción PM-HS no es tan fuerte.

Como se puede ver en la Fig.14 el cuadro que mejor responde a la PM es el 1, en donde al aumentar la PM aumenta la humedad del suelo. Sin embargo Octubre 1989 presentó una respuesta diferente, observamos que mientras PM aumentó la HS disminuyó. El caso opuesto se pudo observar en Julio 1990, en donde baja PM y aumenta HS. Pese a esto es el cuadro 1 el que mejor sigue a la PM, como puede observarse en la pendiente de la Fig.16.

El Cuadro 3 presentó una respuesta a la PM menos intensa que el Cuadro 1, i.e. observamos que en Julio 1989 y Junio 1990, la HS del Cuadro 3 es menor que los registrados para el Cuadro 1 y en general sus registros de HS son bajos en relación a la PM, en la Fig.16 se refleja esta comportamiento en donde la pendiente de C3 es menor que C1.

Para el Cuadro 7 se presentó un comportamiento muy semejante al del Cuadro 3 en donde observamos que las variaciones más grandes se tienen cuando PM es mayor a 100 mm (Fig.14) sobre todo en el año 1990. De la misma manera en la Fig.16 la pendiente de C3 y C7, se encuentran muy cercanas y la diferencia se da por arriba de los 150 mm de PM.

La PM determinó la humedad del suelo, teniendo que el primer mes con humedad para 1989 fue Julio en donde se registró la mayor precipitación del año (Cuadro 4) y con registro de 15.5% de HS y al final del año de 7.5%. En 1990 el primer mes húmedo fue Junio que es también el de PM más alto alcanzando 15.2% de humedad y disminuyendo en Diciembre a 7.5% correspondiendo a la estación seca (datos referentes al Cuadro 1 Fig.14).

#### 5. Diferencias en la marcha mensual de la humedad entre profundidades

La capa superficial (0-10 cm) presentó en general una mayor humedad que la capa profunda (20-30 cm). En los primeros 10 cm del suelo se registraron valores de humedad entre 16% y 7.8%. Para la capa profunda los rangos están dados entre al 15.5% y 6.2%. Es decir que la capa superficial es entre 1.03% y 1.25% veces mayor que la capa profunda (Fig.9).

La humedad de suelo en la capa superficial sigue mejor la marcha de la PM que la capa de 20-30 cm (Fig.11 y 14).

De acuerdo a la agrupación hecha (Figs.12 y 15) se observó que los cuadros presentan respuestas complementarias, i.e. al Cuadro 3 en los primeros 10 cm presentó la respuesta más fuerte de los Cuadros y se encontró que el C3 seguía a la PM. En la capa de 20-30 cm el C3 no sigue a la PM y tiene valores de humedad bajos (Fig.11 y 14). Los cuadros 1 y 2 son de los registros más altos de HS y siguen a la PM en la capa profunda. Esto indica que mientras en los primeros 10 cm del suelo los cuadros puedan alcanzar altos porcentajes de humedad estos serán de los menos húmedos en la capa profunda.

Sin embargo hay cuadros como el 7 y 5 en los que su respuesta a la PM es débil y en donde los porcentajes de HS son bajos en ambas profundidades. Este comportamiento puede explicarse por los valores de R2 (Cuadros 7 y 8) donde observamos que sus valores son de los más bajos. El valor de la pendiente (m) es mayor en la capa superficial lo cual nos indica una mayor respuesta a la PM. Así como el valor de "a" es menor en la capa profunda, este valor tiene que ver con el valor de humedad cuando no hay precipitación, es decir que en los primeros 10 cm del suelo hay mayor humedad aún en la estación seca.

CUADRO 7

Regresión (0-10 cm)  $p < 0.001$

R2=coeficiente de determinación, m= pendiente, a= ordenada al origen.

CUADRO	R2	m	a
1	0.653	0.021	8.127
2	0.634	0.025	7.707
3	0.807	0.029	8.273
4	0.594	0.022	8.087
5	0.676	0.021	8.17
6	0.632	0.022	8.29
7	0.655	0.021	8.193

CUADRO 8

Regresión (20-30 cm)  $p < 0.001$

R2=coeficiente de determinación, m= pendiente, a= ordenada al origen.

CUADRO	R2	m	a
1	0.66	0.027	7.544
2	0.64	0.026	7.695
3	0.64	0.017	7.459
4	0.66	0.018	7.697
5	0.57	0.017	7.347
6	0.62	0.021	8.24
7	0.53	0.018	7.5

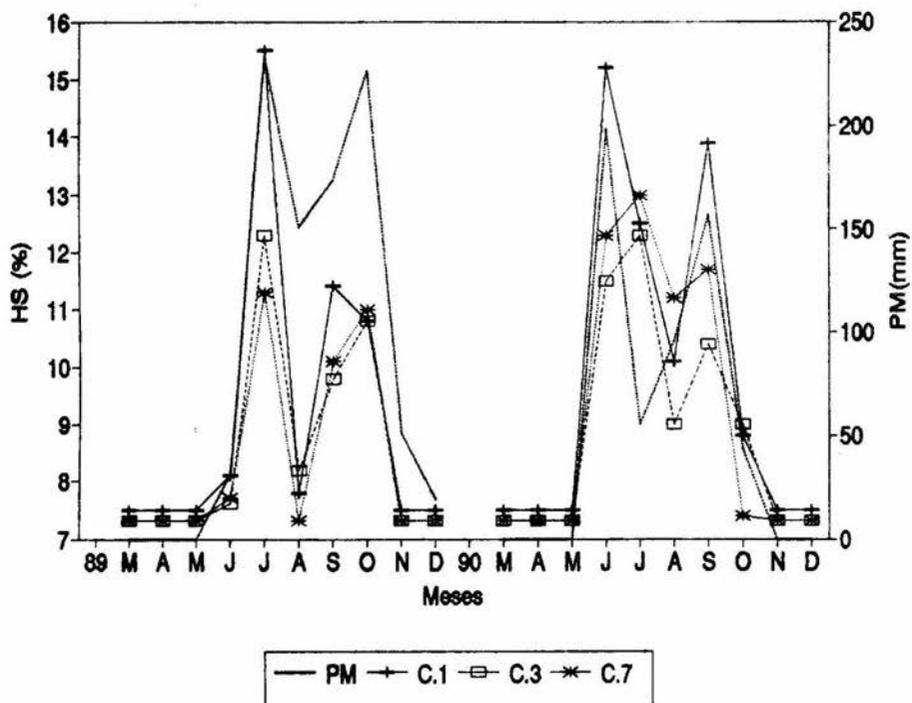


Fig. 14 Relación entre la precipitación mensual (PM) y el porcentaje de humedad del suelo (HS) a una profundidad de 20-30 cm en los cuadros 1,3 y 7 para los años 1989-1990.

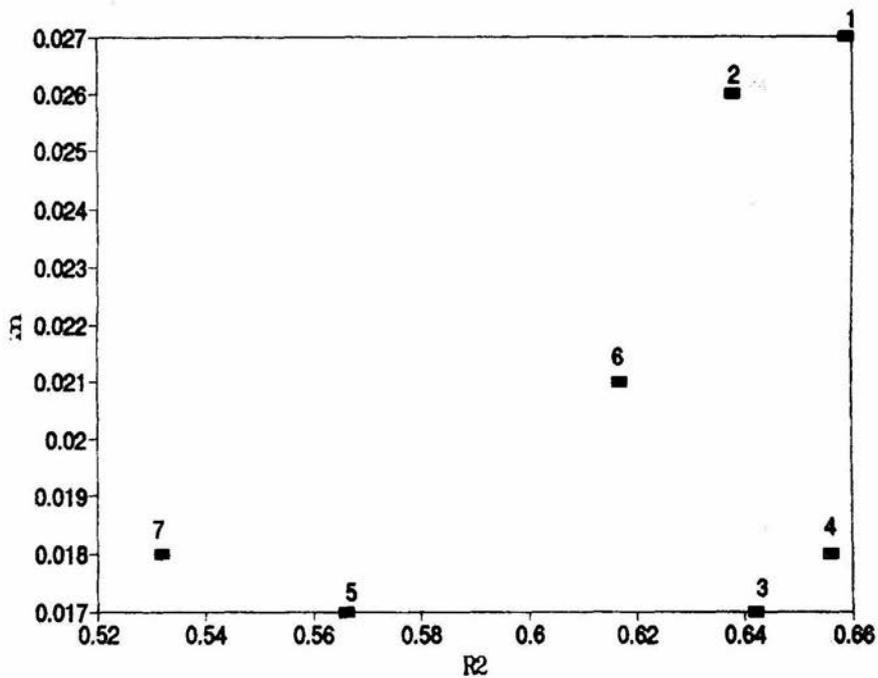


Fig. 15 Relación entre el coeficiente de determinación ( $R_2$ ) y la pendiente ( $m$ ) que muestra la distribución de los puntos de cuadros característicos en la profundidad de 20-30 cm.

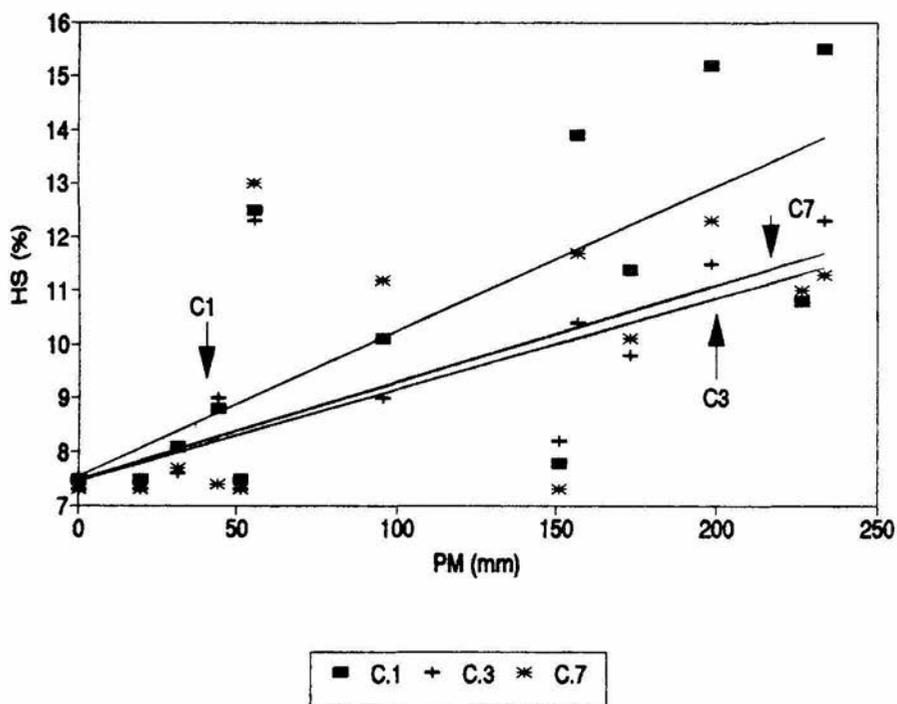


Fig. 16 Regresión entre la precipitación mensual (PM) y la humedad del suelo (HS) de los cuadros 1,3 y 7 a una profundidad de 20-30 cm.

## 6. Diferencia en la marcha mensual de la humedad entre orientaciones

Las diferencias encontradas en los primeros 10 cm del suelo por orientación Norte y Sur, indican que la ladera Norte es más húmeda que la Sur (Fig.17). Con variaciones en la estación seca de 7.1% a 9.5% (Norte) y de 6.2 a 8.3% (Sur), esto es 1.5 veces más húmeda la Norte respecto a la Sur. En la estación húmeda de Junio a Octubre la humedad del suelo registrada varió entre 7.8% y 19% (Norte) y de 6.2% a 18% (Sur), siendo entre 1.05 y 1.25 veces más húmeda la ladera Norte que la Sur.

### Relación precipitación y marcha de humedad

#### Ladera Norte

De acuerdo a la agrupación hecha al graficar R2 y la pendiente (m) (Fig.18) se encontraron cuatro grupos. El primero formado por el Cuadro 3 que tiene la mayor respuesta a la precipitación y en donde los cambios de humedad son muy sensibles a cambios de la PM.

El segundo grupo formado por los Cuadros 2,5,6 y 7 en el cual las variaciones en los registros de humedad se explican por los cambios en la PM, pero la respuesta es menos fuerte que el Cuadro 3.

El tercer grupo con el Cuadro 4, el cual tiene una fuerte respuesta a la PM, aunque sus variaciones se explican en menor grado por los cambios de la PM. Esto es la respuesta es la misma en intensidad que la del Cuadro 3 pero en la variación de HS intervienen otros factores más allá de la PM.

El cuarto grupo la forma el Cuadro 1 con una muy débil respuesta y cuya marcha de la humedad no sigue a la PM.

Como se observa en la Fig.19 el Cuadro 4 sigue muy de cerca la marcha de la PM, cuando sube PM sube también HS, este Cuadro responde en mayor magnitud a estas aportaciones de lluvia. Se presentan dos meses en los cuales hay una respuesta diferente. Estos ocurren en Octubre 1989 en donde al aumentar PM la HS baja y en Julio 1990 donde baja PM y HS aumenta.

El Cuadro 2 sigue a la PM pero en menor intensidad que el Cuadro 4, como se observa en la Fig.19 el mes de Septiembre 1990 en donde el valor de C2 es menor a los de C4. Esto queda también reflejado en la pendiente de la regresión (Fig.20). Por último C1 que no sigue muy de cerca la marcha de la PM. En donde en Octubre 1989 con un alto registro de lluvia C1 tuvo menos humedad que C2 y C4. En 1990 su patrón de respuesta cambia y la HS alcanzada es mayor que en C2 (Fig.19) por ello la pendiente de la regresión (Fig.20) es mayor que C2.

## Cuadro 5

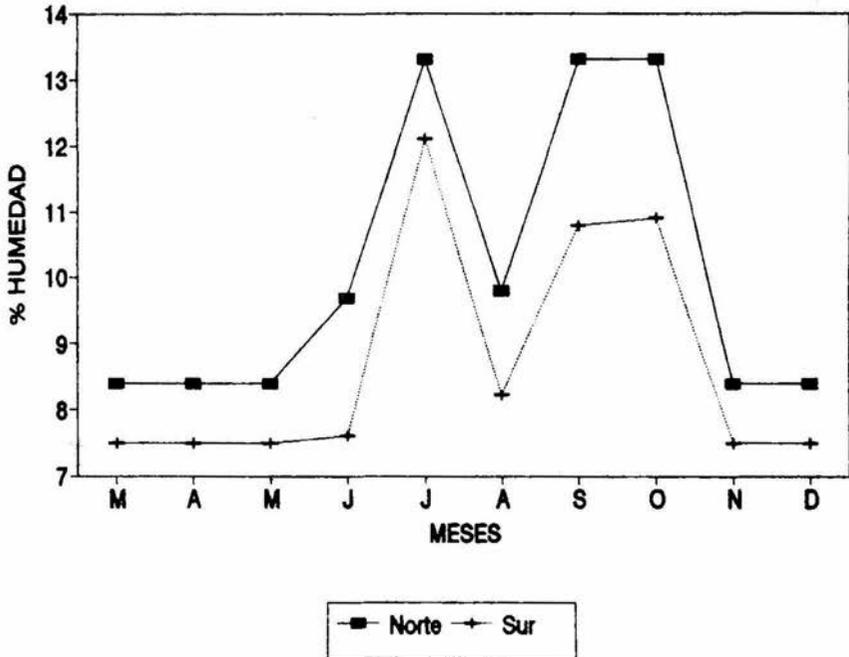


Fig. 17 Distribución mensual de la humedad del suelo por orientación de laderas a 10 cm de profundidad en el año 1989.

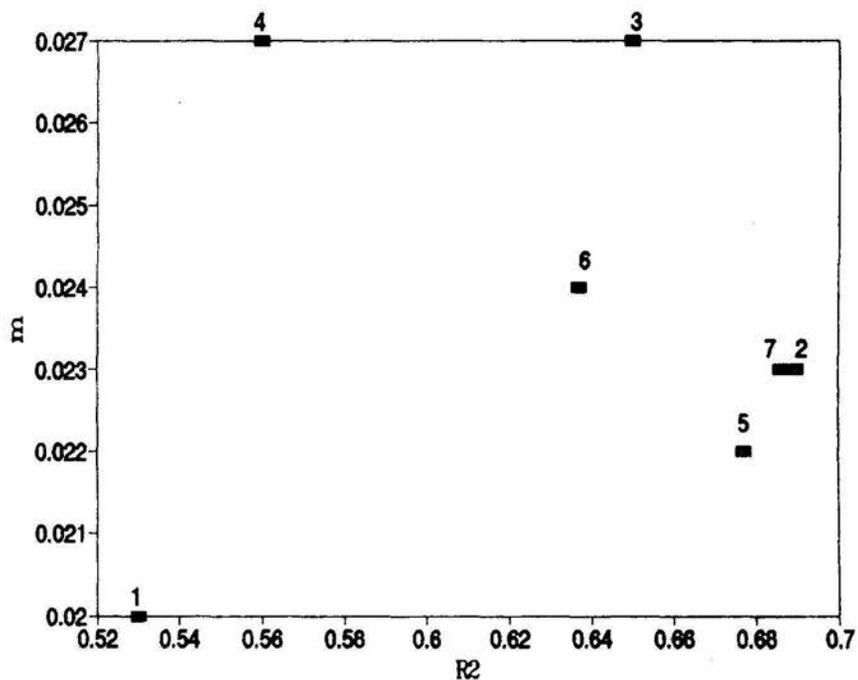


Fig. 18 Relación entre el coeficiente de determinación ( $R_2$ ) y la pendiente ( $m$ ) que muestra la distribución de los puntos de cuadros característicos en la ladera Norte.

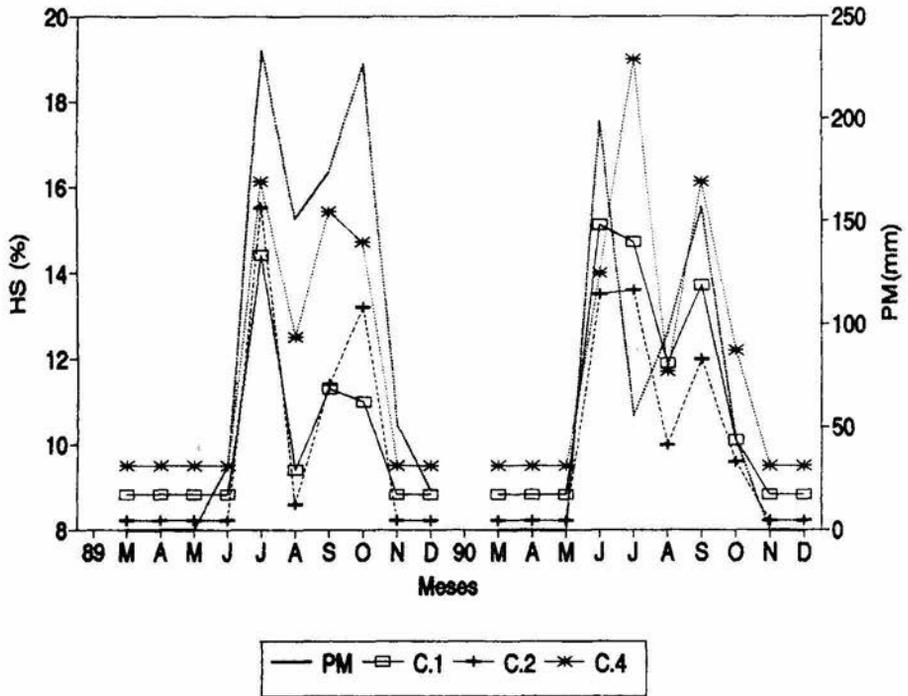


Fig. 19 Relación entre la precipitación mensual (PM) y el porcentaje de humedad del suelo (HS) en la ladera Norte (0-10 cm), para los cuadros 1,2 y 4 en los años 1989-1990.

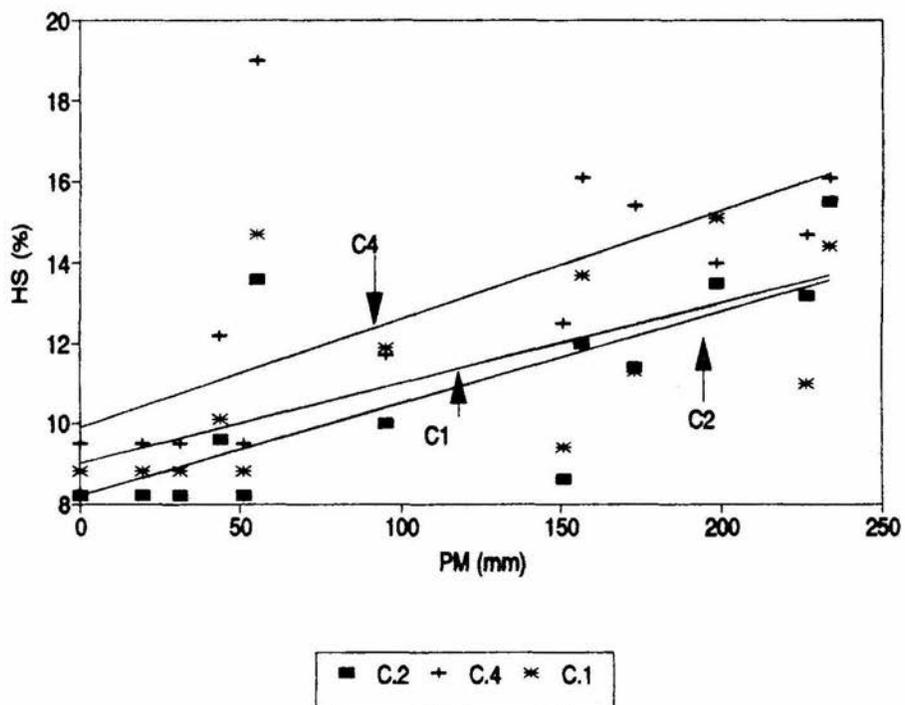


Fig. 20 Regresión entre la precipitación mensual (PM) y la humedad del suelo (HS) de los cuadros 1,2 y 4 en la ladera Norte (0-10 cm).

Por ello los resultados muestran que en la relación PM y HS en la ladera Norte, la variable no es sólo la PM sino también las características de la ladera. El valor positivo obtenido en  $m$  nos indican una relación directa (Cuadro 6) la cual puede observarse en Julio 1989 y 1990 con los mayores registros de humedad correspondiendo a la estación húmeda y los registros más bajos en Diciembre de ambos años correspondiendo a la estación seca.

### Ladera Sur

Las agrupaciones para la ladera Sur (Fig.21) establecen tres grupos: El Cuadro 1, donde la HS se explica por la PM y su interacción es muy fuerte. El segundo grupo C2 en donde las variaciones de la humedad del suelo se explican por la PM pero su respuesta es menor que C1. El tercer grupo formado por los Cuadros 3,4,5,6, y 7 que no siguen a la marcha de la PM y su respuesta es menos fuerte a la precipitación.

La marcha de la humedad del suelo en el C1 (Fig.22) sigue muy de cerca a la PM, es decir cuando sube PM sube la humedad del suelo. Al observar esta gráfica es evidente que la respuesta de la HS sobre todo en 1990 presenta variaciones con respecto a la PM, sin embargo es el Cuadro que mejor ajuste guarda con la PM. El C2 sigue la marcha de la PM y es muy cercana a C1 pero de menor humedad, el comportamiento de este Cuadro en 1990 (Fig.22) responde a la PM en mayor magnitud que cualquier otro Cuadro. En Julio 1990 C2 alcanza la mayor humedad de ambos años y de todos los cuadros, por lo cual la pendiente de C2 y C1 (Fig.23) se encuentran muy cercanas.

C4 es el cuadro de menor relación con la PM, en Agosto y Septiembre 1989 (Fig.22) la humedad registrada es menor con respecto a la PM y a los otros Cuadros. Por lo que al graficar la pendiente (Fig.23) es menor que C1 y C2.

Hay marcadas diferencias entre laderas, las orientadas hacia el Norte siguen mejor la marcha de la PM que las de orientación Sur según puede verse por los valores obtenidos de  $R^2$  y  $m$  (cuadros 9 y 10). El valor de  $a$  (la humedad del suelo cuando la precipitación es cero) en la ladera Norte tiene los valores más altos de todo el análisis y son mucho mayores que los de la ladera Sur. La relación PM y HS es menor respecto a las otras dos escalas manejadas de Cuadro y Profundidad, es decir la marcha de la PM no explica en mucho las variaciones de la humedad del suelo en esta escala.

CUADRO 9

Regresión ladera Norte (0-10 cm)  $p < 0.001$

R2=coeficiente de determinación, m= pendiente, a= ordenada al origen.

CUADRO	R2	m	a
1	0.53	0.02	9.01
2	0.69	0.023	8.2
3	0.65	0.027	7.828
4	0.56	0.027	9.901
5	0.677	0.022	8.758
6	0.637	0.024	8.378
7	0.686	0.023	7.921

CUADRO 10

Regresión ladera Sur (0-10 cm)  $p < 0.001$

R2=coeficiente de determinación, m= pendiente, a= ordenada al origen.

CUADRO	R2	m	a
1	0.801	0.025	7.333
2	0.607	0.027	7.139
3	0.478	0.016	8.646
4	0.547	0.019	6.391
5	0.637	0.019	7.675
6	0.611	0.02	8.225
7	0.597	0.018	8.35

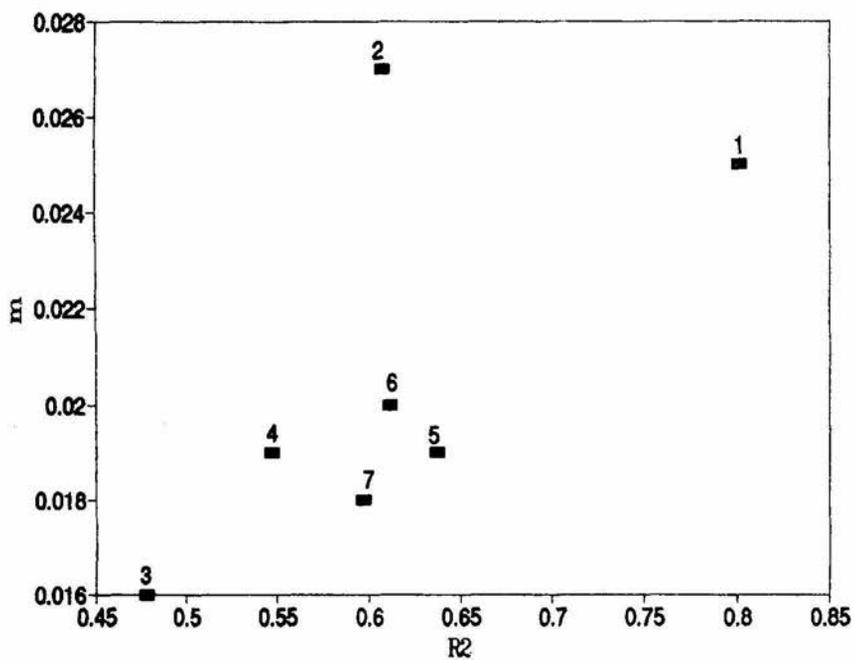


Fig. 21 Relación entre el coeficiente de determinación ( $R_2$ ) y la pendiente ( $m$ ) que muestra la distribución de los puntos de cuadros característicos en la ladera Sur.

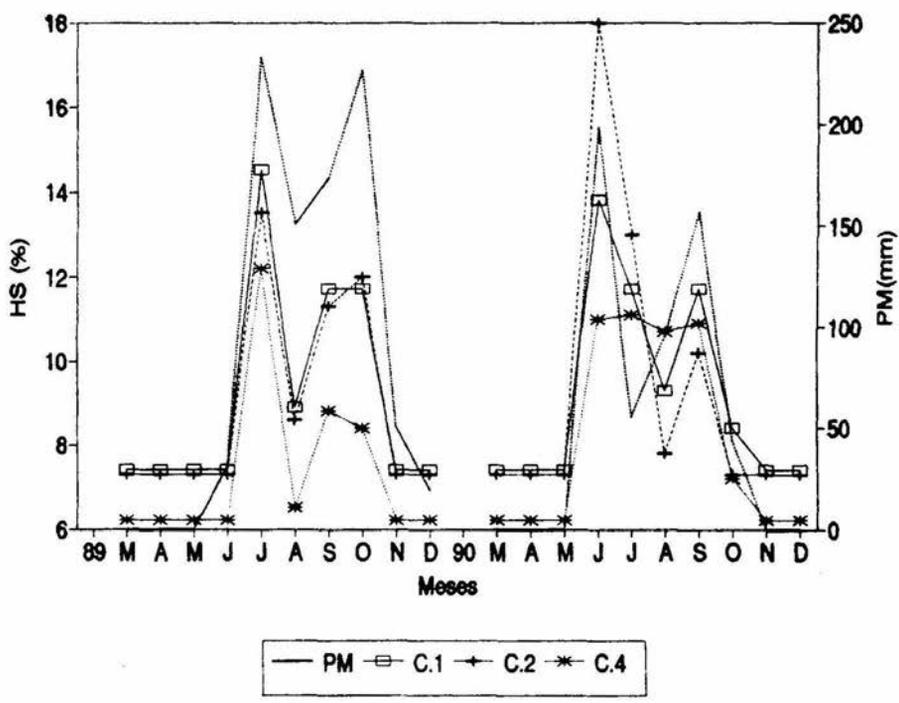


Fig. 22 Relación entre la precipitación mensual (PM) y el porcentaje de humedad del suelo (HS) en la ladera Sur (0-10 cm) para los cuadros 1,2 y 4 en los años 1989-1990.



## DISCUSION

### 1. Precipitación

De acuerdo a las características de la precipitación pueden establecerse dos tiempos en relación con la humedad del suelo.

Primer tiempo. Se presenta en el primer mes con lluvia y es determinante la cantidad total de agua (PM) para la HS independientemente de su valor de CPM, *i.e.* el C3 (0-10 cm) en Junio 1989 la PM fue de 31.3 mm con una CPM de 6.9 mm día<sup>-1</sup> (Cuadro CPM) y la humedad registrada fue de 8.1%, sin embargo Junio 1990 registró una PM de 198.4 mm con una CMP 39.7 mm días<sup>-1</sup> y 16 % de HS generando una escorrentía (Qs) del 12% (Fig.4).

Entonces en el primer mes con lluvia podemos establecer la presencia de Qs en base a la cantidad de lluvia.

Junio de 1989 no presenta un aumento de HS respecto a los meses secos y no generó Qs, dadas las características de la selva baja caducifolia se descarta la idea de que la lluvia haya sido interceptada por el dosel de la vegetación ya que en este mes se encuentra sin hojas. Lo anterior parece indicar que la lluvia es interceptada por el mantillo, Patiño (*op cit*) señala que es en este mes (Junio) cuando se presenta el valor máximo de acumulación de mantillo.

Por otra parte Junio 1990 (Fig.4) registra una Qs del 12% y esta respuesta parece indicar que la PM rebasó un umbral de respuesta en el suelo. Bullock y Solís-Magallanes (1990) señalan que se requiere de un umbral de 100 mm (PM) para que las plantas respondan a la lluvia. López (1992) sugiere la existencia de un umbral de 200 mm de PM y de 100 mm de IPA (índice de precipitación antecedente) para generar escorrentía.

Los resultados obtenidos en el mes de Junio 1989 parecen apoyar estas ideas. Entonces podemos decir que lluvias menores a 100 mm no desempeñan un papel importante en el primer mes de lluvia, ya que esa lluvia puede ser interceptada por el mantillo y disminuir con ello la infiltración.

Segundo tiempo. Se presenta en los meses siguientes de la estación húmeda. Nuevamente es la PM quien determina la HS. Sin embargo son las características de la tormenta las que explican la Qs, *i.e.* C3 (0-10 cm) en Octubre 1989 con una PM 226.7 mm, CMP 45.3 mm día<sup>-1</sup> y 13.8% Hs; generó una Qs del 12%.

Esta Qs puede explicarse por la tormenta del 1 Octubre 1989 de 160 mm que representó el 70.7% de la precipitación mensual (Cuadro 5) este porcentaje nos habla de una alta intensidad lo que favorece la Qs y disminuye la infiltración. Por ello la HS alcanzada es

menor que la de Julio con sólo una diferencia de 6.8% de HS entre ambos meses, ya que Julio tuvo un CMP bajo de 19.5 mmdía<sup>-1</sup> en comparación de los 45.3 mmdía<sup>-1</sup> de Octubre (Cuadro 4).

En este segundo tiempo la humedad antecedente es determinante para que la Qs se presente. Luk (1985) señala que un alto contenido de humedad antecedente reduce el promedio de infiltración e incrementa exponencialmente la QS.

Este comportamiento se observó en Septiembre 1989 (Cuadro 1) en donde una PM de 173 mm generó una Qs de 13.5% mayor a la Qs de Octubre con un PM de 226.7 mm (Apéndice II). Aquí se debe considerar la humedad antecedente producida por la precipitación de Julio y Agosto (233.5 mm y 150.8 mm respectivamente).

Resulta claro que la marcha de la lluvia tiene respuestas diferentes en la humedad del suelo y en la presencia de escorrentía, ya que en ellos no se involucran los mismos procesos.

## 2. Humedad del suelo

### a) Cuadro

Los factores que explican el comportamiento de la humedad por cuadro son los edáficos y topográficos.

En el caso del C3 que fue el Cuadro de mayor humedad observamos que tiene un alto porcentaje de arenas (64.5%) que le confieren una elevada capacidad de infiltración. El contenido de M.O. (101.68 kg ha<sup>-1</sup>) es el mayor de los siete Cuadros, esta presencia de M.O. mejora su condición estructural y favorece su capacidad de retención. La cantidad total de mantillo es de los más elevados lo cual explica en parte la elevada producción de M.O.. Galicia (op cit) encontró que este Cuadro es el de menor demanda evaporativa a pesar de tener un mayor gradiente de pendiente este hecho se debe a una menor incidencia solar por lo cual la pérdida de HS por esta vía es mínima. Estas características edáficas del sitio le confieren una capacidad de respuesta a la PM mayor que los otros cuadros.

El C2 si bien sigue la marcha de la PM se encontró que no guardaba las mismas proporciones en relación al aporte de lluvia. La elevada humedad al inicio de la estación húmeda se debe a que su capacidad de infiltración es alta considerando que su contenido de arenas es del 60% y tener un contenido de M.O. de 68.87 kg ha. la diferencia de la humedad del suelo con respecto a C3 en Agosto 1989 y 1990 se deben a su baja capacidad de retención de solo el 10% en relación a C3 que es del 20%. Esto explica también que C3 sea el de mayor humedad aún en la estación seca.

El C1 representó una débil respuesta a la PM. Lo que parece suceder aquí tiene que ver con la productividad y actividad de las plantas. Es decir en este cuadro se tiene una buena infiltración y

la mayor capacidad de retención de acuerdo a su textura y estructura (Apéndice I). Sin embargo la pérdida de agua por la vegetación es elevada, Galicia (1992) encontró que en este cuadro la incidencia solar provoca una alta demanda evaporativa en todo el año, por lo que la pérdida de humedad del suelo será elevada.

Si tomamos la producción de hojarasca como un indicador de la productividad y actividad de las plantas, según el dato proporcionado por Patiño (op cit) esperaríamos que la demanda hídrica en este cuadro sea muy alta. Este resultado coincide con el reportado por Galicia (1992) en donde C1 tuvo una mayor demanda evaporativa respecto a C3. Este efecto pudo observarse en Octubre 1989 en donde la PM representó un aporte de 226.7 mm sin embargo la pérdida de HS vía vegetación es muy elevada en este mes por evaporación.

#### b) Profundidad

La presencia de una mayor humedad en la capa superficial se debe a que cuenta con un mayor contenido de M.O. ( $79.32 \text{ kg ha}^{-1}$ ) y una buena capacidad de infiltración de acuerdo a su textura arenosa. Además su respuesta directa a la PM (valor de  $m$ , Cuadro 4 y 5) tiene que ver con estas características edafológicas.

La capacidad de retención es mayor en los primeros 10 cm del suelo como se observó al calcular el valor de  $a$  (Cuadro 4) ya que este valor explica la humedad del suelo cuando no hay precipitación (i.e.  $C1 \ a = 8.127$  (10cm),  $a = 7.544$  (20cm).

El Cuadro 3 presentó registros de humedad muy altos en la capa superficial sin embargo en la capa profunda presentó los registros más bajos de humedad, aquí el efecto se debe a la resistencia eléctrica por lo cual la humedad no se transmite a la capa profunda con la misma velocidad con la que llega la lluvia. Además este comportamiento parece sugerir la formación de lo que algunos autores señalan como un frente de humedad que detiene el abastecimiento de agua a las capas profundas (Slack y Larson, op cit).

Los Cuadros 1 y 2 registraron una alta HS de 20-30 cm lo cual parece apoyar la idea de que en estos cuadros se tiene una alta capacidad de infiltración y una menor resistencia eléctrica. Además de tener una elevada capacidad de retención que le permite seguir la marcha de PM. Este efecto explica que la pendiente de estos cuadros sea mayor respecto a los otros cuadros y muy cercana entre ellos (Fig.16).

Entonces si bien la PM es importante en explicar el comportamiento de la HS en esta escala, la resistencia eléctrica, la capacidad de retención y la formación de un frente de humedad son factores determinantes en el contenido de humedad del suelo.

### c) Orientación (ladera)

Existen dos factores que determinan el comportamiento de la HS, en esta escala la radiación solar y la demanda de evapotranspiración.

Galicia (1992) encontró que en la zona la máxima incidencia solar se presenta en el Solsticio de Verano (22 Junio) decreciendo a partir del 22 de septiembre al 22 de Marzo. Señala también que la orientación y el gradiente de la pendiente determinan la incidencia de rayos solares. Cuando aumenta la pendiente el factor de la orientación tendrá una mayor importancia en la incidencia solar.

A esta escala la HS responde a la PM de manera distinta en la ladera Norte que en la Sur.

Tomemos al C4 cuyas características edafológicas son muy similares entre ambas laderas (Apéndice I). Observamos que mientras en la ladera Norte la HS de Julio a Octubre 1989 registra valores de humedad de 12-16%, en la ladera Sur es de 6-12%, este comportamiento se debe a que la mayor incidencia solar en estos meses se presenta en la ladera Sur (Galicia op cit). Esta mayor incidencia solar aumenta la demanda de evapotranspiración y con ello eleva la pérdida de agua ocasionando una baja humedad del suelo.

La elevada humedad en la ladera Norte guarda una estrecha relación con la alta productividad que conlleva un mejor aporte de nutrientes y de materia orgánica. Solís (1993) reporta 82 kg ha<sup>-1</sup> (Norte) y 74 kg ha<sup>-1</sup> (Sur), lo cual nos indica también una mayor capacidad de retención de la orientación Norte respecto a la Sur. También encontró que en la ladera Sur hay una mayor proporción de arenas (66%) que en la Norte (60%), Galicia (op cit) señala que las arenas permiten una mayor evaporación y que la influencia de las características edáficas son más evidentes al inicio del mes de Julio cuando el crecimiento de la vegetación comienza.

El comportamiento de la ladera de orientación Norte donde la HS sigue mejor a la PM se debe a que la incidencia solar es menor en esta ladera, además de contar con un mejor abastecimiento de M.O. y una menor densidad de vegetación.

Martínez-Yrizar et al (1990) encontraron que a mayor biomasa existe un aumento de masa foliar lo que incrementa la evaporación, Galicia (op cit) reporta para la ladera Sur una mayor densidad de biomasa lo cual nos habla de una demanda evaporativa mayor en Sur que en la Norte.

El resultado obtenido de a en el cálculo de la regresión para la ladera Norte fueron los más altos de todo el análisis, hecho que nos indica que esta ladera es más húmeda aún en la estación seca. Galicia (1992) señala que de Agosto a Marzo donde queda comprendida la estación seca la incidencia solar fue menor en la ladera Norte que en la Sur.

### 3. FACTORES QUE DETERMINAN LA HUMEDAD DEL SUELO

La precipitación en Chamela presenta dos tiempos definidos en relación a su influencia sobre la humedad del suelo. 1. al inicio de la estación lluviosa (Junio) y 2. los siguientes meses de la estación lluviosa (Julio-Octubre).

Para establecer los factores más importantes que determinan la humedad del suelo se deben considerar estos tiempos.

1.- Primer tiempo, al inicio de la estación lluviosa el mes de Junio. Los elementos que intervienen en el comportamiento de la humedad del suelo son la precipitación y de esta la cantidad que se genera. Se estableció mediante los resultados obtenidos que lluvias menores a 100mm de precipitación directa no son importantes en el funcionamiento del sistema.

Hay que considerar en este punto que la sensibilidad del método utilizado para registrar los cambios de humedad es muy baja (Hillel, 1990). Es decir que seguramente la cantidad de lluvia que necesita el sistema para funcionar es mucho menor a esta cantidad.

En este primer tiempo la humedad del suelo es directamente afectada por la presencia de mantillo la cual intercepta la lluvia y evita de esta manera la entrada de agua al suelo (infiltración). Es probable también que esta lluvia sea atrapada para la actividad radicular. Y también que sea interceptada en la interface mantillo-suelo. En este primer tiempo de lluvias. Surgen dos preguntas para trabajos posteriores ¿cuál es el papel del mantillo al inicio de lluvias?, ¿cuál su grado de afectación en relación al funcionamiento del sistema?

El agua que penetra al suelo en esta etapa es utilizada básicamente para aspectos "estructurales"(como podría ser la absorción de agua por las arcillas y su expansión, lo cual indica que no hay aspectos funcionales a nivel sistema en estas primeras lluvias menores a 100mm). Diríamos que en este primer tiempo el ciclo hidrológico (Fig. 1) se está iniciando.

Otro aspecto a considerar es que la cantidad de agua que precipita por ser un recurso limitado cada uno de los elementos del sistema entran en competencia para su captación, lo cual también disminuye la entrada de agua al suelo.

2.- Segundo tiempo, los meses de Julio-Octubre. Los aspectos que intervienen en el comportamiento de la humedad en este tiempo son la precipitación y de esta ya no tanto la cantidad como su intensidad. La cual tendrá una relación directa en la infiltración al agua en el suelo. Si a esta intensidad le añadimos la humedad antecedente en el suelo esta entrada de agua al sobrepasar la capacidad de retención del suelo propiciará la pérdida de agua vía escorrentía. Este efecto será mayor cuando la pendiente aumente. Dentro de la estación húmeda vemos que los factores de la humedad del suelo se encuentran representados en tres casos:

**I. Cuando la estructura del suelo es la misma y mismo relieve (pendiente)**

El comportamiento de la humedad es explicado por la diferencia de orientación de las laderas lo cual genera una salida o pérdida de agua vía evapotranspiración causada por la incidencia solar. i.e. el C.2 de la cuenca 1 (Cuadro 10) Junio y Julio es mayor la demanda de evapotranspiración en la ladera Norte por lo que la humedad del suelo es mayor en la ladera Sur (valores negativos Cuadro 10). En Septiembre y Octubre la incidencia solar es mayor en Sur por lo tanto la evaporación será mayor en Sur, la ladera Norte en este tiempo es entonces más húmeda.

**II. Cuando el relieve es similar pero diferente estructura del suelo**

Aquí el factor que determina el comportamiento de la humedad en el suelo no es la marcha de la radiación solar ya que la orientación y pendiente son las mismas. Es entonces explicada por el contenido de M.O. y arcillas lo cual mejora la estructura del suelo y con ello favorece la capacidad de retención de agua. En el Cuadro 10, observamos que C.1 tiene un mayor contenido de M.O. y porcentaje de arcillas en la ladera Norte y por ende una mayor capacidad de retención. Esto es muy claro al observar los valores positivos para la ladera Norte en todos los meses de la estación húmeda (Cuadro 10).

**III. Cuando se presentan diferencias de relieve (pendiente) y de estructura del suelo**

En este caso no se puede determinar que la humedad responda a la incidencia solar por el efecto de pendiente o que se deba a la estructura del suelo. Ya que en estos casos todos los factores intervienen en un grado mayor o menor según el sitio. Y por ser casos particulares para conocer los factores que determinan el comportamiento de la humedad en el suelo se requieren estudios a una menor escala de tiempo y espacio. Caso del C.3 en donde el patrón de la humedad no responde por estructura únicamente o por relieve (pendiente), (Cuadro 11).

#### 4. UTILIDAD DE LOS PARAMETROS PARA LA CONSTRUCCION DE MODELOS DE HUMEDAD DEL SUELO.

Con los resultados obtenidos en este trabajo es posible predecir el comportamiento espacial de la humedad del suelo en una cuenca hidrológica.

Para ello es necesario contar con la información de contenido de M.O., textura del suelo, capacidad de retención de agua en el suelo, orientación de laderas, pendiente y humedad relativa del suelo. Con esta información procesada en un Sistema de Información Geográfica (SIG) es posible determinar áreas con mayor o menor humedad dentro de la cuenca. La importancia de este trabajo tiene implicaciones en el manejo del ecosistema, por que nos permitirá conocer la distribución espacial de la humedad del suelo y en base a eso tomar decisiones sobre el manejo.

El uso del SIG en estas cuencas ya se ha aplicado en un trabajo anterior (Galicia, 1992) con muy buenos resultados, por lo que la aplicación de esta técnica para la humedad del suelo es muy posible.

CUADRO 11.

CUADRO 1	NORTE	SUR	H.A. NORTE	H.A. SUR	H.A. N(-)S
M.O.kgha <sup>-1</sup>	62	53			
% Arcillas	62	56			
Junio	15.1	13.8	6.3	6.4	0.1
Julio	14.7	11.7	5.9	4.3	1.6
Septiembre	13.7	11.7	4.9	4.3	0.6
Octubre	10.1	8.4	1.3	1.0	0.3
Mínimo	8.8	7.4			
CUADRO 2					
M.O.kgha <sup>-1</sup>	69	68			
% Arcillas	62	60			
Junio	13.5	18.0	5.3	10.7	-5.4
Julio	13.6	13.0	5.4	5.7	-0.3
Septiembre	12.0	10.0	3.8	2.7	1.1
Octubre	9.6	7.3	1.4	0.0	1.4
Mínimo	8.2	7.3			
CUADRO 3					
M.O.kgha <sup>-1</sup>	125	78			
% Arcillas	64	68			
Junio	9.8	13.8	2.7	5.6	-2.9
Julio	13.8	13.8	6.7	5.6	1.1
Septiembre	10.4	11.3	3.3	3.1	0.2
Octubre	8.7	12.3	1.6	4.1	-2.5
Mínimo	7.1	8.2			

1

<sup>1</sup>. Los valores de Junio-Octubre son de humedad relativa (%), H.A. es la humedad ajustada de el valor mensual menos el mínimo por ladera.

## CONCLUSIONES

En base al estudio realizado concluimos que:

- Existe una fuerte correlación entre la precipitación mensual (PM) y la humedad del suelo (HS), sin embargo el índice de la concentración de la precipitación mensual (CPM) no guarda una correlación significativa con la humedad del suelo.
- La capa superficial (0-10 cm) registra una mayor humedad explicada por sus características edafológicas lo que le confiere una mayor capacidad de retención en relación a la capa profunda (20-30 cm).
- El factor orientación de ladera está determinando la humedad del suelo en relación a la radiación solar y la demanda evaporativa.
- Para entender el comportamiento temporal de la humedad del suelo deben considerarse dos etapas: 1) al inicio de lluvias en donde la cantidad es sumamente importante en determinar la humedad del suelo y 2) durante la estación húmeda donde la intensidad de la lluvia es más importante que la cantidad.

## BIBLIOGRAFIA

- Aber J.D., Melillo J.M., 1991, Terrestrial ecosystems, Saunders College Publishing, E.U.
- Barradas L.V., L. Fanjul, 1985, Equilibrio hídrico y evapotranspiración en una selva baja caducifolia de la costa de Jalisco, México, Biótica, 10 (2), 199-209
- Barradas V.L., 1991, Radiation regimen in a tropical deciduous forest in western Mexico, Theoretical and Applied Meteorology, 44: 57-64
- Brady N.C., 1974, The nature and properties of soils, Mac millan, New York
- Brown G., 1980, Forestry and water quality, Oregon State University Book Store Inc., USA, 124 pp.
- Bormann F.H, G.E. Likens, T.G. Sicama, P.S. Pierce and J. Eaton, 1974, The export nutrients and recovery of stable condition following desforestation at Hubbard Brook, Ecological Monograph, 44:255-277
- Bullock S.H., 1986, Climate of Chamela, Jalisco and trends in the south coastal region of México, Arch. Met. Geoph. Biocl. 36, 297-316
- Bullock S.H. and A. Solís-Magallanes, 1990, Phenology of canopy trees of a deciduos forest in Mexico, Biotropica, 22:22-35
- Cervantes L., J.M. Maass y R.M. Domínguez, 1988, Relación lluvia-escurrencimiento en un sistema pequeño de cuencas de selva baja caducifolia, Ingeniería hidráulica en México, Mayo-Agosto, 38-42
- Dunne T. and Leopold L.B., 1978, Water and enviromental planning, Freeman and company, 818
- Galicia Sarmiento L., 1992, Influencia de la variabilidad de la forma de la pendiente en las propiedades físicas del suelo y su capacidad de retención de agua en una cuenca tropical estacional, Tesis Licenciatura, Facultad de Filosofía y Letras, UNAM
- Gardner H. W., 1986, Water content, Methods of soil analysis, Part I. Physical and Mineralogical Methods, American Society of Agronomy Inc. Soil Science Society of America Inc., Madison, Wisconsin USA, 493-662.

- García-Oliva F., 1992, Erosión y pérdida de nutrientes del suelo en una cronosecuencia de uso agropecuario en un ecosistema tropical estacional mexicano, (Tesis Doctoral), Unidad académica de ciclos profesionales de Postgrado del CCH, Centro de Ecología, UNAM
- García-Oliva F., Ezcurra E., Galicia L., 1991, Pattern of rain fall distribution in the Central Pacific Coast of México, Geografiska Annaler, 73 A(3-4), 179-186
- Jaúregi E., 1967, Las ondas del este y los ciclones tropicales de México. Ingeniería hidráulica de México, 21:197-208
- Jaúregi E., 1987, Vulnerabilidad de las costas del NW de México a los ciclones tropicales del Pacífico Nororiental, Memoria de la meteorología un modelo de cooperación internacional, SARH, México, 9-18
- Jeffrey D.W., 1987, Environmental complexes, Soil-Plant relationships and ecological approach, Ed. Timber Press, USA, 291
- Lal R., 1976, Soil erosion on alfisols in western Nigeria.V. The changes in physical properties and the response of crop, Geoderma, 10, 419-431
- López Guerrero A., 1992, Escorrentía en pequeñas cuencas hidrológicas con selva baja caducifolia en Chamela, Jalisco, Tesis Licenciatura, ENEP Iztacala, UNAM
- Lott E.J., 1985, Listado florístico de la Estación de Biología Chamela, Instituto de Biología, UNAM
- Lott E., S.H. Bullock and Solis Magallanes, 1987, Floristic diversity and structure of upland and arroyo forests of coastal Jalisco, Biotropica, 19, 226-235
- Maas J.M., García-Oliva F., 1990, La conservación de suelos en zonas tropicales, el caso de México; Ciencia y desarrollo, vol.XV, 90, 21-36
- Martínez Yrizar A., 1984, Procesos de producción y descomposición de hojarasca en selvas estacionales, Tesis maestría, Facultad de ciencias, UNAM
- Martínez-Yrizar A. and J. Sarukhán, 1990, Litterfall patens in a Tropical deciduous forest in over five year period, Biotropica, 19:226-235

- Miranda F. y Hernández X.E., 1963, Los tipos de vegetación de México y su clasificación, Boletín Sociedad Botánica de México, 28, 29-179
- Murphy P.G. and Lugo A.E., 1986, The ecology of tropical dry forest, Ann. Rev. Ecol. Sys. 17:67-88
- Odum P.E., 1988, Ecología, Ed. Interamericana,
- Patiño A.M.C., 1990, Variación espacial y temporal de la capa de hojarasca (mantillo) en una selva baja caducifolia en Chamela, Jalisco, México; (Tesis Licenciatura) Facultad de ciencias, UNAM
- Sarukhán J., J.M. Maass, 1990, Bases ecológicas para un manejo sostenido de los ecosistemas en el sistema de cuencas hidrológicas, Medioambiente y desarrollo en México, vol.I, E. Leff (ed), UNAM (CIIH)-Porrúa, 81-114
- Scoging H., 1982, Spatial variations in infiltration runoff and erosion on hillslopes in semi-arid Spain, Badland geomorphology, GeoBooks, (Ed.) R. Bryan, R.A. Yair, England, 86-112
- Slack C.D. and Larson L.C., 1981, Modelling infiltration: The key process in water management, runoff and erosion, In R. Lal and E.W. Russell (ed), Tropical agricultural hydrology, 433-450
- Solís Villalpando E., 1993, Características fisicoquímicas de un suelo en un ecosistema tropical estacional, Tesis Licenciatura, Facultad de ciencias, UNAM
- Sutton B., Harmon P., 1983, Fundamentos de ecología, Ed. Limusa, 125-128
- Ward R., 1975, Principles of hydrology, Mc Graw-Hill Book Company (UK) Limited, England, 367

# APENDICE I.

Características físicas del suelo de Chamela, Jalisco. (Solís 1993, Galicia 1992, Patiño 1990)

Cuadro	Pendiente	Arcilla	Arena	Limo	M.O.	Mantillo
		%	%	%	kg ha <sup>-1</sup>	kg ha <sup>-1</sup>
1	20°	56	25.5	18.5	57.78	8188
2	45°	60	21.5	7.7	68.87	7933
3	43°	64.5	18	17.5	101.68	7996
4	----	65	19	16	76.96	7103
5	----	66	19	5.3	64.38	7688
6	----	61	20.5	5.3	60.81	7052
7	----	64	18.5	17.5	81.04	7530

CUADRO	M.O. kg ha <sup>-1</sup>		% Arcilla		% Arena		% Limo	
	N	S	N	S	N	S	N	S
C1	62	53	62	56	22	24	16	20
C2	69	68	62	60	20	22	18	18
C3	125	78	64	68	20	16	16	16
C4	82	74	60	66	20	20	20	14
C5	82	58	66	64	18	20	16	16
C6	67	61	62	66	20	18	18	16
C7	87	83	66	64	18	18	16	18
Mantillo kg ha <sup>-1</sup>	8687	6597						
M.O. kg ha <sup>-1</sup>	80.6	66.5						

Cuadro	Prof.	% Arena	%Arcilla	% Limo
1	0-10 cm	59	23	18
	20-30cm	53	28	19
2	0-10 cm	61	21	18
	20-30cm	59	22	19
3	0-10cm	66	18	16
	20-30cm	63	18	19
4	0-10cm	63	20	17
	20-30cm	67	19	15
5	0-10cm	65	19	16
	20-30cm	67	19	14
6	0-10cm	64	19	17
	20-30cm	58	22	20
7	0-10cm	65	18	17
	20-30cm	63	19	18
M.O. kg ha <sup>-1</sup>	0-10cm	79.32		
	20-30cm	67.82		

## APENDICE II

PORCENTAJE DE LLUVIA ESCURRIDA, VOLUMEN Y LAMINA DE ESCURRIMIENTO  
 PARA CADA EVENTO REGISTRADO DURANTE EL PERIODO 1989-1990.  
 LOS DATOS CALCULADOS A PARTIR DE REGRESIONES (LOPEZ, 1992)

FECHA	VOLUMEN TOTAL ESCURRIDO (m3)	LAMINA TOTAL ESCURRIDA (mm)	LLUVIA (mm)	LLUVIA TOTAL ESCURRIDA (%)
<b>Cuenca 1</b>				
9 Jul 89	0	0	110.5	0.0
1 Ago 89	119.28	0.8	29.4	2.7
31Ago 89	23.85	0.16	52.7	0.3
21Sep 89	1872.721	12.56	92.8	13.5
1 Oct 89	3603.73	24.17	201.2	12.0
10Oct 89	14.91	0.1	8.7	1.1
21Jun 90	2266.08	15.19	127.4	11.9
16Sep 90	0	0	67.8	0.0
17Sep 90	14.91	0.1	8.7	1.1
<b>Cuenca 2</b>				
9 Jul 89	328.06	1.7	110.5	1.5
1 Ago 89	237.36	1.2	29.4	4.2
31Ago 89	147.19	0.76	52.7	1.4
21Sep 89	2597.68	13.46	92.8	14.5
1 Oct 89	2662.31	13.79	201.2	11.6
10Oct 89	0	0	8.7	0.0
21Jun 90	2540.6	13.16	127.4	10.3
16Sep 90	0	0	67.8	0.0
17Sep 90	44.38	0.2	37	0.6
<b>Cuenca 3</b>				
9 Jul 89	54.11	0.19	110.5	0.17
1 Ago 89	182.24	0.65	29.4	2.21
31Ago 89	84.76	0.3	52.7	0.57
21Sep 89	3025.05	10.78	92.8	11.62
1 Oct 89	6521.42	23.25	201.2	11.56
10Oct 89	0	0	8.7	0
21Jun 90	4300.79	15.33	127.4	12.04
16Sep 90	0.89	0.003	67.8	0.005
17Sep 90	249.54	0.89	37	2.4
<b>Cuenca 4</b>				
9 Jul 89	0	0	110.5	0
1 Ago 89	62.54	0.52	29.4	1.8
31Ago 89	27.17	0.23	52.7	0.43
21Sep 89	1004.14	8.49	92.8	9.15
1 Oct 89	2273.25	19.24	201.2	9.56
10Oct 89	0	0	8.7	0
21Jun 90	2280.35	19.3	127.4	15.14
16Sep 90	0	0	67.8	0
17Sep 90	47.266	0.4	37	1.08
<b>Cuenca 5</b>				
9 Jul 89	0	0	110.5	0
1 Ago 89	61.93	0.24	29.4	0.81
31Ago 89	335.45	1.3	52.7	2.467
21Sep 89	2670.72	10.35	92.8	11.15
1 Oct 89	6069.12	23.52	201.2	11.69
10Oct 89	0	0	8.7	0
21Jun 90	5702.7	22.1	127.4	17.347
16Sep 90	10.32	0.04	67.8	0.05
17Sep 90	175.46	0.68	37	1.83

# APENDICE III

## DISTRIBUCION DE LOS CUBOS

CUENCA 1							
CUADRO	CUBO	CERCA	LEJOS	NORTE	SUR	O-10cm	20-30cm
1							
(Alto)	34-36	X			X	X	
	38-40		X		X	X	
	33-35	X			X		X
	37-39		X		X		X
	42-44	X		X		X	
	46-48		X	X		X	
	41-43	X		X			X
	45-47		X	X			X
2							
(Medio)	18-20	X			X	X	
	22-24		X		X	X	
	17-19	X			X		X
	21-23		X		X		X
	26-28	X		X		X	
	30-32		X	X		X	
	25-27	X		X			X
	29-31		X	X			X
3							
(Bajo)	2-4	X			X	X	
	6-8		X		X	X	
	1-3	X			X		X
	5-7		X		X		X
	10-12	X		X		X	
	14-16		X	X		X	
	9-11	X		X			X
	13-15		X	X			X
CUENCA 2							
4							
	50-52	X			X	X	
	54-56		X		X	X	
	49-51	X			X		X
	53-55		X		X		X
	58-60	X		X		X	
	62-64		X	X		X	
	57-59	X		X			X
	61-63		X	X			X

CUADRO	CUBO	CERCA	LEJOS	NORTE	SUR	0-10cm	20-30cm
CUENCA 3							
5	66-68	X			X	X	
	70-72		X		X	X	
	65-67	X			X		X
	69-71		X		X		X
	74-76	X		X		X	
	78-80		X	X		X	
	73-75	X		X			X
	77-79		X	X			X
CUENCA 4							
6	82-84	X			X	X	
	86-88		X		X	X	
	81-83	X			X		X
	85-87		X		X		X
	90-92	X		X		X	
	94-96		X	X		X	
	89-91	X		X			X
	93-95		X	X			X
CUENCA 5							
7	98-100	X			X	X	
	102-104		X		X	X	
	97-99	X			X		X
	101-103		X		X		X
	106-108	X		X		X	
	110-112		X	X		X	
	105-107	X		X			X
	109-111		X	X			X

## APENDICE IV

### PORCENTAJE MENSUAL DE LA HUMEDAD DEL SUELO REGISTRADA EN EL AÑO 1989 (LADERA Y PROFUNDIDAD)

CUADRO	PROF	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1	N(0-10cm)	8.8	8.8	8.8	8.8	14.4	9.4	11.3	11	8.8	8.8
	(20-30cm)	7.5	7.5	7.5	8.1	18.5	7.6	11.5	10.2	7.5	7.5
	S(0-10cm)	7.4	7.4	7.4	7.4	14.5	8.9	11.7	11.7	7.4	7.4
	(20-30cm)	7.4	7.4	7.4	8	12.5	8	11.3	11.3	7.4	7.4
2	N(0-10cm)	8.2	8.2	8.2	8.2	15.5	8.6	11.4	13.2	8.2	8.2
	(20-30cm)	8.1	8.1	8.1	8.1	16.2	8.1	13.1	13.1	8.1	8.1
	S(0-10cm)	7.3	7.3	7.3	7.3	13.5	8.6	11.3	12	7.3	7.3
	(20-30cm)	7.1	7.1	7.1	7.1	12.6	7.2	11.5	10.6	7.1	7.1
3	N(0-10cm)	8.1	8.1	8.1	8.1	15.5	12.4	15.2	14.8	8.1	8.1
	(20-30cm)	7.6	7.6	7.6	7.8	11.3	9.3	10.7	11.3	7.6	7.6
	S(0-10cm)	8.3	8.3	8.3	8.3	10.4	10.5	11	12.5	8.3	8.3
	(20-30cm)	7.1	7.1	7.1	7.3	13.2	7.1	8.9	9.9	7.1	7.1
4	N(0-10cm)	9.5	9.5	9.5	9.5	16.1	12.5	15.4	14.7	9.5	9.5
	(20-30cm)	8	8	8	9.2	13	8	11.4	11.1	8	8
	S(0-10cm)	6.2	6.2	6.2	6.2	12.2	6.5	8.8	8.4	6.2	6.2
	(20-30cm)	8.2	8.2	8.2	9.2	13	8.8	12.6	9.5	8.2	8.2
5	N(0-10cm)	8.4	8.4	8.4	9.7	13.3	9.8	13.3	13.3	8.4	8.4
	(20-30cm)	7.8	7.8	7.8	9.4	11.1	8.2	10.1	10.7	7.8	7.8
	S(0-10cm)	7.5	7.5	7.5	7.6	12.1	8.23	10.8	10.9	7.5	7.5
	(20-30cm)	6.3	6.3	6.3	7.9	10.2	7	10.2	9.4	6.3	6.3
6	N(0-10cm)	8.1	8.1	8.1	8.1	13.4	8.5	12.6	13.3	8.1	8.1
	(20-30cm)	7.7	7.7	7.7	7.7	12.3	8.3	11.3	11.8	7.7	7.7
	S(0-10cm)	8.1	8.1	8.1	8.1	13.1	8.1	10.8	12.6	8.1	8.1
	(20-30cm)	8.2	8.2	8.2	8.8	13.4	8.2	11.4	12.2	8.2	8.2
7	N(0-10cm)	7.9	7.9	7.9	7.9	13	8.8	11.4	13	7.9	7.9
	(20-30cm)	7	7	7	7.6	11.1	7.1	10.6	11.7	7	7
	S(0-10cm)	8.2	8.2	8.2	8.2	12.8	8.8	10.6	12	8.2	8.2
	(20-30cm)	7.8	7.8	7.8	7.8	11.6	7.6	9.6	10.3	7.6	7.6

PORCENTAJE MENSUAL DE LA HUMEDAD DEL SUELO REGISTRADO EN EL AÑO 1990 (LADERA Y PROFUNDIDAD).

CUADRO-PROF.	JUN	JUL	AGOS	SEPT	OCT	NOV	DIC
1 N(0-10cm)	15.1	14.7	11.9	13.7	10.1	8.8	8.8
(20-30cm)	17.4	14.7	10.6	15.3	9	7.5	7.5
S(0-10cm)	13.8	11.7	9.3	11.7	8.4	7.4	7.4
(20-30cm)	13.1	11.5	9.8	12.5	8.6	7.4	7.4
2 N(0-10cm)	13.5	13.6	10	12	9.6	8.2	8.2
(20-30cm)	14.3	14.6	10.9	14.8	9.4	8.2	8.2
S(0-10cm)	18	13	7.8	10.2	7.3	7.3	7.3
(20-30cm)	13.8	13.2	9.8	12	7.7	7	7
3 N(0-10cm)	9.8	13.8	7.8	10.4	8.7	7.1	7.1
(20-30cm)	13	11	10.4	11	9	7.8	7.8
S(0-10cm)	13.8	13.8	9.5	11.3	12.3	8.2	8.2
(20-30cm)	18.5	14	10.7	14	10.8	8.4	8.4
4 N(0-10cm)	14	19	11.7	16.1	12.2	9.5	9.5
(20-30cm)	14.1	13.3	11.3	13.4	10.9	8	8
S(0-10cm)	11	11.1	10.7	10.9	7.2	6.2	6.2
(20-30cm)	13	13.5	12.1	13.5	9.5	8.2	8.2
5 N(0-10cm)	13.3	13.7	10.8	14.1	12	8.4	8.4
(20-30cm)	13.1	12.7	10.1	11.1	10.2	7.9	7.9
S(0-10cm)	12.6	12.7	9.6	11.5	9.2	7.5	7.5
(20-30cm)	11.2	11.6	8.9	10.6	8.2	6.3	6.3
6 N(0-10cm)	14.1	14.1	12.6	13.6	10.8	8.1	8.1
(20-30cm)	13.3	13.3	11.5	12.8	9.8	7.7	7.7
S(0-10cm)	12.6	13.3	11.5	13.7	8.9	8.1	8.1
(20-30cm)	14.1	13.2	12.4	13.3	9.7	8.2	8.2
7 N(0-10cm)	13.6	13.6	10.8	13	7.8	7.8	7.8
(20-30cm)	13	13.7	11.1	11.9	7	7	7
S(0-10cm)	12.8	13	13	11.8	8.5	8.2	8.2
(20-30cm)	11.6	12.2	11.3	11.5	7.6	7.6	7.6

**PORCENTAJE MENSUAL DE LA HUMEDAD DEL SUELO REGISTRADO EN EL AÑO 1989.**

CUADRO	PROF	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC
1	0-10cm	8.1	8.1	8.1	8.1	14.1	8.1	11.5	11.3	8.1	8.1
2	0-10cm	7.8	7.8	7.8	7.8	14.5	8.5	11.3	12.6	7.8	7.8
3	0-10cm	8.2	8.2	8.2	8.2	15	1.4	13.1	13.8	8.2	8.2
4	0-10cm	7.8	7.8	7.8	7.8	14.2	9.5	12.1	11.3	7.8	7.8
5	0-10cm	7.9	7.9	7.9	8.6	12.7	9	12.1	12.1	7.9	7.9
6	0-10cm	8.1	8.1	8.1	8.2	13.2	8.3	11.6	13	8.1	8.1
7	0-10cm	8.1	8.1	8.1	8.1	12.9	8.8	11	12.5	8.1	8.1
1	20-30c	7.5	7.5	7.5	8.1	15.5	7.8	11.4	10.8	7.5	7.5
2	20-30c	7.6	7.6	7.6	7.6	14.4	7.7	12.3	11.8	7.6	7.6
3	20-30c	7.3	7.3	7.3	7.6	12.3	8.2	9.8	10.8	7.3	7.3
4	20-30c	7.8	7.8	7.8	9.2	13.2	8.4	12	10.4	8.1	8.1
5	20-30c	7	7	7	8.6	10.6	7.5	10.9	10.1	7	7
6	20-30c	8	8	8	8.3	12.8	8.3	11.3	12	8	8
7	20-30c	7.3	7.3	7.3	7.7	11.3	7.3	10.1	11	7.3	7.3

**PORCENTAJE MENSUAL DE LA HUMEDAD DEL SUELO REGISTRADO EN EL AÑO 1990**

CUADRO	PROF.	JUN	JUL	AGOS	SEP	OCT	NOV	DIC
1	20-30c	15.2	12.5	10.1	13.9	8.8	7.5	7.51
2	0-10cm	15.8	13.2	8.9	10.5	8.5	7.8	7.8
3	0-10cm	16	13.8	10	13.4	10.5	8.3	8.3
4	0-10cm	12.5	15	11.2	12.8	9.5	7.8	7.8
5	0-10cm	12.9	13.2	10.2	12.5	10.6	7.9	7.9
6	0-10cm	13.3	13.7	12.1	13.7	9.8	8	8
7	0-10cm	13.2	13.3	11.9	12.4	8.2	8.1	8.1
1	20-30c	15.2	12.5	10.1	13.9	8.8	7.5	7.5
2	20-30c	14.4	14	10.3	13.4	8.7	7.6	7.6
3	20-30c	11.5	12.3	9	10.4	9	7.3	7.3
4	20-30c	11	11.1	10.7	10.9	7.2	6.2	6.2
5	20-30c	12.2	12.2	9.5	10.9	8.9	7	7
6	20-30c	13.7	13.3	12	13	9.8	8	8
7	20-30c	12.3	13	11.2	11.7	7.4	7.3	7.3

ZAA  
111L  
1994



374



# UNAM

## FECHA DE DEVOLUCIÓN

El lector se obliga a devolver este libro antes  
del vencimiento de préstamo señalado por el  
último sello

1



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO



BIBLIOTECA  
CENTRO DE ECOLOGIA

T  
Z.A.A.E  
Ej.1.2

1994