

03058  
3  
2ej.

---

Universidad Nacional Autónoma de México  
Unidad Académica de Ciclos Profesionales  
y de Postgrado del CCH  
Centro de Ecología

**EROSION Y PERDIDA DE NUTRIENTES DEL SUELO EN UNA CRONOSECUENCIA  
DE USO AGROPECUARIO EN UN ECOSISTEMA TROPICAL ESTACIONAL MEXICANO**

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

TESIS  
Que para obtener el grado de:  
DOCTOR EN ECOLOGIA  
Presenta:  
FELIPE FRANCISCO GARCIA-OLIVA



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 está 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.

## RESUMEN

El presente trabajo aborda el problema de la erosión del suelo desde un punto de vista ecológico, en un ecosistema tropical estacional. Este ecosistema esta poco estudiado, a pesar de que presenta altos niveles de perturbación. El estudio se realizó en Chamela, que se localiza en la costa del Estado de Jalisco. En este sitio, la selva es transformada a pasturas para ganadería extensiva. Se estudiaron los dos principales factores ambientales que limitan la producción agropecuaria: el patrón de lluvias y la degradación de los suelos. Los principales resultados son los siguientes:

1. En México los niveles de erosión son altos. El 60% de la superficie nacional presenta algún grado de pérdida de suelo. El área más afectada a nivel nacional es el trópico estacional.
2. Existen pocos estudios sobre el problema de la erosión en el país. Se encontraron 178 citas entre 1946 y 1988. El mayor porcentaje de citas no están formalmente publicados, el 35% fueron tesis y el 34% memorias de congresos.
3. La mayoría de los trabajos se concentran en algunas zonas del país. El 29% de los estudios han sido elaborados en el Estado de México; a nivel de regiones climáticas, el 65% fueron hechos en la zona templada y sólo el 9% en el trópico estacional.
4. Las etapas en que se encuentran la investigación sobre erosión en México son: i) determinación de métodos adecuados para evaluar la erosión (el 19% de los trabajos) y ii) evaluación de superficies de áreas erosionadas (el 65% de los trabajos).
5. Sólo el 9% de los trabajos se refirieron a prácticas de conservación de suelos. Para que éstas prácticas sean exitosas es necesario considerar: i) que sean acordes a las condiciones ecológicas y socio-económicas de cada región, ii) el contexto del su sistema agropecuario de producción, iii) tomar en cuenta las características de la agricultura de ladera y iv) rescatar el conocimiento tradicional de las prácticas de conservación y manejo de suelos de ladera.
6. La costa Central del Pacífico de México puede ser dividida en cuatro zonas, cada una de las cuales presenta su propio patrón de lluvias. El nivel de probabilidad de las lluvias es diferente en cada una de las zonas, 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.
7. Las lluvias se concentran en los meses de verano. El 90% de la precipitación y de las tormentas se presentó de junio a octubre y el 70% en sólo tres meses (julio, agosto y septiembre).
8. La mayoría de las tormentas en Chamela son de baja cantidad y duración, el 62% de las tormentas fueron menores a 8 mm y el 57% duraron menos de 90 minutos. 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). Estas tormentas tuvieron un alto nivel de erosividad (El promedio de la erosividad anual fue de  $6525 \text{ MJ mm}^{-1} \text{ ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ). Las lluvias más erosivas se presentaron principalmente en septiembre, aunque se les puede encontrar en cualquier mes de la temporada húmeda.

9. El presente trabajo representa una de las primeras experiencias en la aplicación del método de la distribución de Cs-137 en el suelo para medir erosión en zonas tropicales. Los principales factores que afectaron la distribución de Cs-137 fueron: el relieve, la distribución de la materia orgánica en el perfil del suelo y el uso del suelo. Con respecto a la primera, se encontró una mayor concentración de Cs-137 en los pies de ladera, seguidos por las crestas y finalmente por las laderas. Se encontró una relación entre la cantidad de la materia orgánica y la concentración de Cs-137 en el perfil del suelo. Se encontró una menor concentración de Cs-137 en las parcelas cultivadas con respecto a la selva natural. Por último, para la interpretación de los datos de Cs-137 es necesario incluir un análisis de morfología de ladera.

10. Los dos factores principales que afectaron la concentración de los nutrientes en el suelo fueron: la edad de la parcela y su distribución en el perfil del suelo.

11. En los primeros cuatro centímetros de profundidad se concentran el 60% de los nutrientes, a excepción de  $\text{Na}^+$  y fósforo total (PT). El ecosistema tiene una alta susceptibilidad a la pérdida de nutrientes por la erosión de la capa superficial del suelo.

12. Con la edad de la parcela se modifica la concentración de los nutrientes del suelo. En la parcela con un año de manejo se incrementó la concentración debido a la quema de la vegetación. Los nutrientes que más aumentaron fueron  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{PO}_4$  y PT. En la parcela de 7 años, todo los nutrientes presentaron disminución significativas con respecto a la selva sin perturbar. Los nutrientes con menor concentración en la parcela de 11 años fueron  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{PO}_4$  y PT.

13. La materia orgánica,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{++}$  y  $\text{Mg}^{++}$  presentaron una menor concentración en la ladera con respecto a los pies. Las laderas son las unidades del paisaje con mayor riesgo de degradación.

14. Las especies dominantes de la selva tienen estrategia fotosintética  $\text{C}_3$ , por lo que sus valores promedio de  $\delta^{13}\text{C}$  fue de  $-27\text{‰}$ . En cambio, las gramíneas cultivadas son  $\text{C}_4$  con un  $\delta^{13}\text{C}$  de  $-15\text{‰}$ . Se encontró que los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  de la materia orgánica del suelo dependen de su cobertura vegetal. Cuando existe un cambio de la vegetación, se empieza a dar un proceso de sustitución de la materia orgánica con diferentes orígenes. A partir de los 7 años de uso, la materia orgánica del suelo de los primeros 6 cm de profundidad presentó diferencias significativas con respecto a la de la selva. En la parcela de 11 años, el 50% de la materia orgánica de la selva había sido sustituida por la de los pastos. Sin embargo, a profundidades mayores a 6 cm los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  de los parcelas con distinta edad de uso son parecidos a los de la selva.

## ABSTRACT

The present work deals with the soil erosion problem with an ecological point of view, in a seasonal tropical ecosystem. This ecosystem has been poorly studied, though its high level of perturbation. The study site was at Chamela, located at the coast of the State of Jalisco. At this place, the forest is converted into cattle pastures. The two main environmental factors that constrain the agricultural production, were studied: the rainfall pattern and soil degradation. The main results obtained are mentioned:

1. Erosion levels in Mexico are high. The 60% of the country surface presents some level of soil losses. At national level, the more affected areas are the seasonal tropics.
2. There are few works done in Mexico concerning the erosion problem. Between 1946 and 1988 only 178 references were found. Most of the percentage of references are not formally published, 35% were thesis dissertations and 34% were proceedings from Symposiums and Congresses.
3. Most of the works are concentrated in a few zones of the country. The 29% of the studies have been elaborated in the State of Mexico; at climate regions level, the 65% were made in the temperate zone and only 9% in the seasonal tropics.
4. The erosion research in Mexico is found in two stages: i) determination of adequate methods to evaluate erosion (19% of the studies) and ii) evaluation of the surface of eroded areas (65% of the studies).
5. Only 9% of the studies were referred to soil conservation practices. To make this practices successful its necessary to consider: i) the ecological and socio-economical conditions of each region, ii) the production agrosystem involved, iii) the characteristics of the hilly agriculture and iv) traditional knowledge on conservation and management of hill soils.
6. The Central Pacific coast of Mexico can be classified into four zones, each showing different rainfall patterns. As a results of tropical cyclone influence in the Pacific coast, the level of rainfall probability differ between zones. Such influences is revealed in the total annual rainfall, in the seasonality and in the monthly rainfall pattern.
7. The rainfall season correspond to summer. The 90% of the precipitation and storms occurred from June to October and 70% in only three months (July, August and September).
8. Most of the storms at Chamela had low rainfall deep and duration, 62% of the events were of less than 8 mm and 57% lasted less than 90 minutes. The rainfall pattern depends on some few storms provoked by the tropical cyclones (80% of the annual precipitation correspond to a 16% of the total annual storms). These storms had a high erosivity level (Mean annual erosivity was  $6525 \text{ MJ mm}^{-1} \text{ ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ). The most erosivity rains occur mainly in September, though they can appear in any month of the rainy season.
9. This work represents one of the first experiences in the application of the method of Cs-137 distribution in the soil to measure erosion in tropical zones. The main factors that affected

the Cs-137 distribution were: topography, organic matter distribution in the soil profile, and the land use. Concerning the first, it was found a higher concentration of Cs-137 at the footslope, followed by the hilltop, and finally the hillslope. It was found that organic matter amount and Cs-137 concentration in the soil were related. Cs-137 concentrations were lower in the cultivated plots than in the undisturbed forest. At last, is necessary to include an analysis of the hillslope morphology for the interpretation of the Cs-137 data.

10. The two main factors that affected the nutrients concentrations in the soil were: the age of the plot and its distribution in the soil profile.

11. The 60% of the nutrients are concentrated at the first four centimeters of the soil, exempting  $\text{Na}^+$  and total phosphorous (PT). This means that the ecosystem has high susceptibility of nutrient losses due to the surface layer erosion of the soil.

12. According with the age of the plot, there were found some modifications in the nutrients concentrations in the soil. At the first year plot occurred a concentration increment due to the vegetation burn. The most increased nutrients were  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{PO}_4$  and PT. At the seven year plot, all the nutrients concentrations presented significant decrease in comparison with the undisturbed forest. The nutrients with the lowest concentrations at the 11 years plot were  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{PO}_4$  and PT.

13. The organic matter,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{++}$  and  $\text{Mg}^{++}$ , presented a lower concentration at the hillslope than at footslope. The hillslope represents the landscape units with the highest risk of degradation.

14. The dominant species at the forest are  $\text{C}_3$ , for this reason their  $\delta^{13}\text{C}$  mean value was  $-27 \text{ ‰}$ . In contrast, the grasses of the cultivated plots are  $\text{C}_4$  with  $\delta^{13}\text{C}$  mean value of  $-15 \text{ ‰}$ . It was found that the  $\delta^{13}\text{C}$  values of the organic matter in the soil depend on the vegetation cover. When a vegetation cover change happens, starts a substitution process of organic matter with different origins. From the 7 years of use, the organic matter of the soil at the first 6 cm of depth present significant differences in comparison with that of the forest. At the 11 years plot, the 50% of the organic matter of the forest had been substituted by that of the pasture. Though, at depths of more than 6 cm the  $\delta^{13}\text{C}$  values of the pasture are similar to those of the forest.

## CONTENIDO

### INTRODUCCION

- I.- LA CONSERVACION DE SUELOS EN ZONAS TROPICALES: EL CASO DE MEXICO.
  - II.- LA INVESTIGACION SOBRE LA EROSION DE SUELOS EN MEXICO. UN ANALISIS DE LA LITERATURA EXISTENTE.
  - III.- CONSIDERACIONES A LAS PRACTICAS DE CONSERVACION DE SUELOS EN ZONAS TROPICALES.
  - IV.- DISTRIBUCION DEL PATRON DE LLUVIA EN LA COSTA CENTRAL DEL PACIFICO DE MEXICO (PATTERN OF RAINFALL DISTRIBUTION IN THE CENTRAL PACIFIC COAST OF MEXICO).
  - V.- ANALISIS DE TORMENTAS Y EROSION DE LA LLUVIA EN UN ECOSISTEMA TROPICAL ESTACIONAL EN CHAMELA, JALISCO, MEXICO.
  - VI.- ANALISIS DEL METODO DE LA DISTRIBUCION DE CESIO-137 EN EL SUELO PARA MEDIR EROSION EN UN ECOSISTEMA TROPICAL ESTACIONAL, MEXICO.
  - VII.- EROSION Y PERDIDA DE NUTRIENTES DEL SUELO EN UN AGROECOSISTEMA TROPICAL ESTACIONAL, MEXICO.
  - VIII.- CAMBIO DE LAS RELACIONES DE ISOTOPOS ESTABLES DE CARBONO EN LA MATERIA ORGANICA DEL SUELO DEBIDO AL MANEJO DE UN ECOSISTEMA TROPICAL ESTACIONAL, MEXICO.
- COMENTARIOS FINALES.

## LISTA DE FIGURAS

### INTRODUCCION

Fig. 1 Localización de Chamela, Jalisco, México.

### CAPITULO I

Fig. 1 Expansión ganadera en México.

Fig. 2 Estado de la vegetación en Tabasco.

Fig. 3 Erosión acelerada en México.

Fig. 4 Grados de erosión en México estimada por diferentes autores.

Fig. 5 Zonas afectadas por la erosión.

Fig. 6 Tasas de erosión por Estados.

Fig. 7 Tasas de erosión por Estados.

Fig. 8 Efecto de la cobertura vegetal.

Fig. 9 Erosión en Chamela, Jalisco.

### CAPITULO II

Fig. 1 Número de citas por año encontradas.

### CAPITULO IV

Fig. 1 Localization of the Central Pacific Coast, Mexico.

Fig. 2 Regression analysis between annual precipitation and latitude.

Fig. 3 Distribution of the values of equitability ( $E$ ) and the amount of rain of a typical rainy month ( $\bar{x}$ ) at the Central Pacific coast.

Fig. 4 Monthly 100 mm rainfall probabilities in the four zones of the Central Pacific coast of Mexico.

### CAPITULO V

Fig. 1 Cantidad, duración e intensidad por tormentas en Chamela, Jalisco, México.

Fig. 2 Frecuencia acumulada y probabilidad de la cantidad de lluvia por tormenta, de las series totales, en Chamela, Jalisco, México (1983-1990).

Fig. 3 Frecuencia acumulada y probabilidad de la duración de las tormentas de las series totales, en Chamela, Jalisco, México (1983-1990).

Fig. 4 Frecuencia acumulada y probabilidad de la intensidad por tormenta de las series totales, en Chamela, Jalisco, México (1983-1990).

Fig. 5 Ordenación de los meses y años con análisis de componentes principales.

Fig. 6 Ordenación de meses y años a partir del análisis de correspondencia de la frecuencia de eventos de lluvia mayores a 8 mm para cada mes.

Fig. 7 Valores de  $EI_{30}$  de las principales tormentas en Chamela, Jalisco, México.

### CAPITULO VI

Fig. 1 Diagrama del Espectrómetro Gamma de bajo fondo.

Fig. 2 Curva de eficiencia del equipo para distintas energías (Julio de 1991).

Fig. 3 Distribución promedio (error estándar) de la actividad de Cs-137 ( $Bq\ kg^{-1}$ ) en el perfil del suelo, de tres elementos topográficos en una cuenca no perturbada, Chamela, Jalisco, México.

- Fig. 4 Promedios (error estándar) de la materia orgánica de perfiles de suelo con selva, Chamela, México.
- Fig. 5 Niveles de actividad de Cs-137 en tres transectos con distinta altitud en una cuenca no perturbada, Chamela, Jalisco, México.

#### CAPITULO VII

- Fig. 1 Densidad aparente por profundidad en parcelas con distinto tiempo de uso.
- Fig. 2 Distribución relativa de la materia orgánica en el perfil del suelo en parcelas con distinto tiempo de uso.
- Fig. 3 Distribución relativa de  $\text{Na}^+$  en el perfil del suelo en parcelas con distinto tiempo de uso.
- Fig. 4 Distribución relativa de  $\text{K}^+$  en el perfil del suelo en parcelas con distinto tiempo de uso.
- Fig. 5 Distribución relativa de  $\text{Ca}^{++}$  en el perfil del suelo en parcelas con distinto tiempo de uso.
- Fig. 6 Distribución relativa de  $\text{Mg}^{++}$  en el perfil del suelo en parcelas con distinto tiempo de uso.
- Fig. 7 Distribución relativa de  $\text{PO}_4$  en el perfil del suelo en parcelas con distinto tiempo de uso.
- Fig. 8 Distribución relativa de PT en el perfil del suelo en parcelas con distinto tiempo de uso.
- Fig. 9 Distribución relativa de NT en el perfil del suelo en parcelas con distinto tiempo de uso.
- Fig. 10 Promedios de materia orgánica por profundidad en parcelas con distinto tiempo de uso.
- Fig. 11 Promedios de  $\text{Na}^+$  por profundidad en parcelas con distinto tiempo de uso.
- Fig. 12 Promedios de  $\text{K}^+$  por profundidad en parcelas con distinto tiempo de uso.
- Fig. 13 Promedios de  $\text{Ca}^{++}$  por profundidad en parcelas con distinto tiempo de uso.
- Fig. 14 Promedios de  $\text{Mg}^{++}$  por profundidad en parcelas con distinto tiempo de uso.
- Fig. 15 Promedios de  $\text{PO}_4$  por profundidad en parcelas con distinto tiempo de uso.
- Fig. 16 Promedios de PT por profundidad en parcelas con distinto tiempo de uso.
- Fig. 17 Promedios de NT por profundidad en parcelas con distinto tiempo de uso.
- Fig. 18 Valores relativos (residual) de la cantidad de nutrientes de 0-2 cm en el suelo, con respecto a la selva, de parcelas con distinto tiempo de uso.
- Fig. 19 Valores relativos (residual) de la cantidad de nutrientes de 2-4 cm en el suelo, con respecto a la selva, de parcelas con distinto tiempo de uso.
- Fig. 20 Valores relativos (residual) de la cantidad de nutrientes de 4-6 cm en el suelo, con respecto a la selva, de parcelas con distinto tiempo de uso.

#### CAPITULO VIII

- Fig. 1 Promedios de  $\delta^{13}\text{C}$  de la materia orgánica del suelo en parcelas con distinto tiempo de manejo en los primeros 6 cm.

Fig. 2 Promedio de la materia orgánica del suelo con distinto origen en los primeros 6 cm del suelo, en parcelas con distinto tiempo de uso.

#### COMENTARIOS FINALES

Fig. 1 Relación entre el porcentaje de arenas y la actividad de Cs-137 en perfiles del suelo, en crestas con selva sin perturbar, en Chamela, Jalisco, México.

### LISTA DE TABLAS

#### CAPITULO I

- Tabla 1. Promedio anual de la precipitación y erosividad de la lluvia para varias localidades en el mundo.
- Tabla 2. Altas intensidades de lluvias, reportadas para varias localidades en zonas tropicales.
- Tabla 3. Erosión estimada para varias cuencas de algunos ríos del mundo.
- Tabla 4. Pérdida de suelo por erosión de parcelas con bosque, pasto y cultivos de maíz en varias localidades del mundo.
- Tabla 5. Tasas de erosión (en ton ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>) en parcelas experimentales bajo diferente tipo de cobertura del suelo y diferentes pendientes.
- Tabla 6. Pérdida de suelo por erosión hídrica reportadas para el estado de Veracruz.

#### CAPITULO II

- Tabla 1. Detalle de la información contenida en la base de datos sobre erosión hídrica en México.
- Tabla 2. Bibliografía sobre erosión hídrica en México.
- Tabla 3. Lista de autores y tipo de cita en la que aparece.
- Tabla 4. Lista de autores por institución.
- Tabla 5. Revistas y editoriales que han publicado trabajos sobre erosión hídrica en México.
- Tabla 6. Instituciones que han trabajado sobre erosión hídrica en México.
- Tabla 7. Tesis realizadas en México sobre diferentes aspectos de la erosión hídrica.
- Tabla 8. Trabajos presentados en congresos afines al tema.
- Tabla 9. Métodos utilizados en el estudios de erosión hídrica en México.
- Tabla 10. Escalas en las que se han realizado trabajos de erosión hídrica en México.
- Tabla 11. Métodos utilizados por escala de los estudios realizados.
- Tabla 12. Trabajos realizados en los diferentes Estados de la República por escala.
- Tabla 13. Bibliografía sobre erosión hídrica por Estados.
- Tabla 14. Instituciones que han realizados trabajos sobre erosión en los diferentes Estados de la República.
- Tabla 15. Citas encontradas para diferentes regiones climáticas de México.
- Tabla 16. Temática de las citas sobre trabajos de erosión hídrica en México.

Tabla 17. Temática de las citas sobre trabajos de erosión hídrica en México por institución.

#### CAPITULO III

- Tabla 1. Comparación entre el trópico seco y húmedo para varios parámetros demográficos.
- Tabla 2. Pérdida de suelo ( $t\ ha^{-1}$ ) bajo distintos cultivos y prácticas agrícolas.
- Tabla 3. Pérdidas de suelo ( $t\ ha^{-1}$ ) en testigos (cultivos sin prácticas de conservación) y bajo diferentes prácticas.

#### CAPITULO IV

- Tabla 1. Monthly relative frequencies of cyclones occurring in the NW mexican pacific coast between 1953 to 1978 (Jáuregui, 1987).
- Tabla 2. Annual rainfall, amount of rain of a typical rainy month ( $\bar{x}$ ), rainfall concentration ( $p$ ) and equitability ( $E$ ) for the stations of the Central Pacific coast of Mexico.
- Tabla 3. Significance levels for the parameters of the logistic regression model.
- Tabla 4. Monthly significance differences between zone using the estimates of the logistic regression model.

#### CAPITULO V

- Tabla 1. Resumen de la distribución anual de la precipitación y escorrentía en Chamela, Jalisco (1983-1990).
- Tabla 2. Parámetros de la distribución gamma para cantidad, duración e intensidad de las series totales en Chamela, Jalisco (1983-1990).
- Tabla 3. Parámetros del modelo polinomial inverso con error gamma entre la intensidad y cantidad.
- Tabla 4. Frecuencia mensual de las tormentas (1983-1990) a distintos intervalos de cantidad, duración e intensidad.
- Tabla 5. Número de tormentas que explican distintos porcentajes de la precipitación anual.
- Tabla 6. Distribución de frecuencias de  $EI_{30}$  de tormentas, en Chamela, Jalisco (1983-1990).
- Tabla 7. Valores medios anuales, máximo anual, mínimo anual de  $EI_{30}$  y erosividad anual ( $R$ ) para Chamela, Jalisco, México (1983-1990).
- Tabla 8. Parámetros del modelo polinomial inverso con error gamma entre  $EI_{30}$  y cantidad de lluvia.

#### CAPITULO VI

- Tabla 1. Comparación de la actividad de Cs-137 ( $Bq\ kg^{-1}$ ) para un perfil con las dos geometrías utilizadas en el presente trabajo.
- Tabla 2. Características de los suelos muestreados en crestas de selva y parcelas con distinto tiempo de uso en Chamela, Jalisco, México.
- Tabla 3. Actividad de Cs-137 en cresta de selva y parcelas con distinto tiempo de uso en Chamela, Jalisco, México.

#### CAPITULO VII

- Tabla 1. Medias y error estándar de la inclinación de la pendiente, textura y pH por unidad de relieve y parcelas con distinto tiempo de manejo.
- Tabla 2. Nivel de significancia ( $R^2$ ) de los principales factores del ANOVA por nutriente.
- Tabla 3. Promedios (error estándar) de los principales nutrientes ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) en el perfil del suelo cada 2 cm, en parcelas con distinto tiempo de uso, en Chamela, Jalisco, México.
- Tabla 4. Promedios (error estándar) de los nutrientes ( $\text{kg ha}^{-1}$ ), cuando el relieve era un factor importante en el modelo.
- Tabla 5. Valores de erosión neta en parcelas con distinto tiempo de manejo estimados con Cs-137.

#### CAPITULO VIII

- Tabla 1. Promedio (error estándar) de  $\delta^{13}\text{C}$  del mantillo y la materia orgánica del suelo de parcelas con distinto tiempo de manejo, en Chamela, Jalisco, México.
- Tabla 2. Valores de la cantidad de materia orgánica del suelo con distinto origen y sus proporciones relativas, en parcelas con distinto tiempo de uso, en Chamela, Jalisco, México.

## INTRODUCCION

## 1. Enfoque ecológico del problema de la erosión de suelos

Los ecosistemas naturales están bajo la influencia continua de distintas fuerzas de perturbación, tanto naturales como antropogénicas. Podemos hablar de estabilidad de los ecosistemas, debido a que estos tienen capacidad de respuesta a las perturbaciones (Swank y Waide, 1980; Trudgill, 1979; Ulrich, 1984). La idea de estabilidad ha sido muy criticada, ya que no existe evidencia directa de que tengan estabilidad de Liapinour (Ulrich, 1984). Tanto la capacidad de ajuste a nuevas condiciones, como la persistencia de ellos en ambientes temporalmente variables, ha permitido definir en sentido amplio que existen procesos y mecanismos reguladores que mantienen a los ecosistemas en estabilidad (Swank y Waide, 1980; Trojan, 1984).

Este estabilidad tiene dos componentes principales: 1) la resistencia, que es la capacidad que tiene el ecosistema de hacer frente a una perturbación sin cambiar su estructura y dinámica, y 2) la elasticidad, que es su capacidad de regresar al estado anterior a la perturbación (Bormann y Likens, 1979; May, 1977; Swank y Waide, 1980; Trojan, 1984; Trudgill, 1979; Webster et al., 1979). En aquellos ecosistemas con grandes masas estructurales o gran biomasa en pie y bajas tasas metabólicas, serán más resistentes a la perturbación, que aquellos ecosistemas que tienen baja masa estructural pero altas tasas metabólicas; estos últimos presentan una elasticidad mayor (Webster et al., 1975, citado por Swank y Waide, 1980).

El estabilidad no solamente está en función de las características de la perturbación (tales como intensidad, duración y tamaño) sino además, sobre en cuál componente del ecosistema está incidiendo (biótico, abiótico o ambos). Si se perturba la estructura biótica, la capacidad de recuperación va a depender del metabolismo biótico (considerando que no se degrada la estructura abiótica). En cambio si se ve afectada la estructura abiótica, la recuperación no solamente va a depender de su metabolismo, sino de la capacidad de movilización de los elementos abióticos por los elementos bióticos (Trojan, 1984; Trudgill, 1979; Webster et al., 1979).

Ahora bien, si entendemos al ecosistema como estructurado jerárquicamente en niveles de organización y cada uno tiene, en algún grado mecanismos reguladores ante perturbaciones de escalas específicas de organización, esta estructuración es la clave para entender cómo los niveles mayores de organización permiten escapar al ecosistema de las consecuencias catastróficas de las perturbaciones (O'Neill et al., 1986). De esta manera, O'Neill et al. (op cit.) analiza cómo la organización del ecosistema ejerce control sobre algunos factores del ambiente abiótico, que son incontables a niveles menores de organización. A este proceso se le ha dado el nombre de "incorporación". Lo interesante de la incorporación, es que el estabilidad del ecosistema va a estar en función del nivel de organización máximo dentro de su jerarquía. En otras palabras, el ecosistema podrá hacer frente a

perturbaciones más intensas mientras mayor sea el número de niveles de organización funcional.

Con base en lo anterior, la relación entre las perturbaciones y las respuestas del ecosistema son complejas, ya que esta relación se da a distintos niveles de organización jerárquica. Esto nos puede explicar la existencia de múltiples puntos de estabilidad. May (1977) menciona que la presencia de varios puntos de estabilidad le da un mayor significado ecológico a la historia de los procesos de los sistemas, que deben ser considerados para el manejo de los ecosistemas. Al considerar que existe una diversidad de puntos de estabilidad es importante tener en cuenta el concepto de valor de umbral, que una vez rebasado, la respuesta del sistema es diferente. Por ejemplo, en modelos simples de poblaciones, la densidad de la población puede alcanzar un punto alto de estabilidad mientras que ésta se mantenga por arriba de un valor umbral; en cambio, si se encuentra debajo de dicho umbral, la población se establece en un estabilidad de baja densidad, o inclusive puede llegar a la extinción (Pimm, 1986). Esto hace que la función de respuesta de un ecosistema ante una perturbación no sea lineal; es decir, que cambios continuos de perturbación generan respuestas discontinuas (May, 1977).

Todo esto está ligado a la organización jerárquica del ecosistema, ya que si tenemos una perturbación que rebasa los valores umbrales, existe un grado donde los efectos de la perturbación ya no pueden ser incorporados por un nivel de jerarquía dado. Por ejemplo, el claro formado por caída de un árbol del dosel de la selva, puede ser regenerado por la poblaciones adyacentes. En cambio, la deforestación de una superficie grande debe ser incorporada por todo el ecosistema. En el primer caso la recuperación está en función de las características de las poblaciones adyacentes (tales como banco de semillas, tasa de crecimiento, etc.) y el segundo por las características del ecosistema (ciclos de nutrientes, elasticidad, etc.). Lo importante en el manejo de los ecosistemas es poder determinar cuáles son los valores umbrales de perturbación, a partir de los cuales ya no pueden ser incorporados por el último nivel de organización jerárquica, dándose como consecuencia la degradación.

En general, los modelos de estabilidad de ecosistema, se han elaborado con el supuesto de que la perturbación no ha sido muy intensa y donde la estructura del suelo no fue afectada. Jordan (1985) menciona que aquellas perturbaciones en las que además de afectar la estructura del ecosistema, afectan intensamente al suelo, la capacidad de recuperación del ecosistema es muy baja.

La erosión es una de las fuerzas más importantes de la degradación de la estructura del suelo, ya que no solamente remueve las partículas orgánicas e inorgánicas (nutrientes disponibles y potenciales), sino que además reduce las superficies de intercambio catiónico y la capacidad de

infiltración. Esto genera efectos a corto y largo plazo de la productividad del ecosistema (Brady, 1974).

La erosión se da cuando las fuerzas de separación y transporte de partículas son mayores a las fuerzas de resistencia de la remoción (Larson *et al.*, 1983; Morgan, 1979; Thornes, 1980). Estas fuerzas van a depender de factores externos (la erosividad de la lluvia) y factores internos (la erodabilidad del suelo, pendiente, cobertura, etc.; Kirkby, 1980; Morgan, 1979; Wischmeier y Smith, 1978).

Cada ecosistema tiene un valor de tolerancia de erosión, que corresponde al máximo valor que permite altos niveles de productividad mantenidos por el propio sistema. Este rango de tolerancia depende de las condiciones particulares de cada ecosistema. El rango está en función de su tasa de formación de suelo y de su capacidad de respuesta a la perturbación. Wischmeier y Smith (1978) registran un rango de valor de tolerancia de erosión para los suelos de E.U. entre 2 y 5 t ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, que no excede de 11.2 t ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> (Larson *et al.*, 1983).

En el momento en que la erosión de un ecosistema rebasa el valor de tolerancia, empieza su degradación. El problema de conservación de suelo radica en que no es sencillo determinar los valores críticos, ya que éstos están en función de las interacciones de la respuesta a la perturbación; por ejemplo, la erosión reduce la infiltración de suelo. Al no existir casi infiltración, la tasa de intemperismo se reduce, por lo que cualquier incremento de erosión reduce los valores de tolerancia aceptable impuestos por la tasa de formación del suelo (Kirkby, 1980).

De igual manera, la pérdida de suelo por erosión no solamente depende de la tasa de descarga de escorrentía, sino también de la erodabilidad del ecosistema (definido como riesgo a la erosión), estando esta última en función tanto de factores abióticos como de factores bióticos, donde estos últimos pueden ejercer un control considerable sobre la erosión (Bormann y Likens, 1979).

Bormann *et al.* (1974) encontraron en Hubbard Brook, E.U., que el ecosistema tiene mecanismos que controlan la erosión, incluso durante cierto tiempo posterior a una perturbación intensa (deforestación continua). Durante los primeros 22 meses, el ecosistema pudo resistir a la fuerza de erosión, después de este tiempo la pérdida de suelo se incrementó considerablemente. Durante el primer período los cambios hidrológicos se incrementaron con respecto al bosque natural, en un 45%, mientras que la erodabilidad del ecosistema, en un 124%. En el segundo período hubo un incremento del 187% y del 1,000%, respectivamente. El comportamiento de una escorrentía con una misma fuerza, erosionó de una manera diferencial en los dos períodos, siendo más erosiva en la segunda etapa. Esto nos permite pensar que además de la existencia de mecanismos de elasticidad del ecosistema, existe un efecto sinérgico en el

proceso de erosión, que dependiendo de la erodabilidad del ecosistema, definen los valores umbrales.

Borman *et al.* (*op cit.*) concluyen que el control biótico de la erodabilidad del ecosistema de Hubbard Brook, está en función de: 1) la materia orgánica en el suelo que favorece la infiltración y la percolación del agua superficial; 2) el efecto de las raíces que le dan una mejor estructura al suelo; 3) la protección del suelo del impacto directo de las gotas de lluvia por la cobertura vegetal; 4) las represas que se forman en los canales de escurrimiento por material orgánico (ramas, hojas, etc.), que regulan la escorrentía y retienen los sedimentos; 5) la hojarasca que protege al suelo de la energía de la escorrentía superficial y 6) la transpiración que reduce los grandes eventos de escorrentía.

Lo anterior nos indica, que la relación entre el proceso erosivo y la erodabilidad del ecosistema, es un componente primordial en la estabilidad de los ecosistemas que han sido sujetos a transformaciones radicales. A niveles altos de degradación de suelo existe una reducción de la productividad de los cultivos, que no ha sido posible recuperar ni con la aplicación de fertilizantes (Lal, 1976; Mbagwu *et al.*, 1984). Esto último, es más marcado en zonas con agricultura de tierras marginales con poca mecanización.

Los trabajos con un enfoque ecológico han analizado la importancia de la erosión en la pérdida de nutrientes del suelo, a nivel de parcelas experimentales (Helvey *et al.*, 1985; Lal, 1976; Maass *et al.*, 1988; Monk, 1975). Son pocos los trabajos a escalas que involucran al ecosistema de una manera más integral. Esto ha generado lagunas en el entendimiento de las consecuencias de la erosión sobre los ecosistemas, dando como consecuencia problemas serios en el manejo adecuado de los sistemas naturales.

## 2. Justificación y presentación de la tesis

En la actualidad las selvas tropicales desaparecen a velocidades alarmantes (Lanly, 1982), Dentro del Neotrópico, el trópico estacional es el más amenazado (Janzen, 1986). En Latinoamérica, las selvas son transformadas principalmente a pasturas para ganadería extensiva (Lal, 1987). Grandes áreas de selva baja caducifolia en México son convertidas a potreros (Toledo *et al.*, 1989). A pesar de que los ecosistemas tropicales estacionales están siendo rápidamente degradados, son pocos los trabajos desarrollados en estas zonas.

Los factores ambientales principales que limitan a la producción agropecuaria en este tipo de ecosistema son: la marcada estacionalidad de la disponibilidad del agua y la alta susceptibilidad a la degradación de los suelos.

El patrón de la lluvia es el factor más importante que influye en la estructura y dinámica de este tipo de ecosistemas. El patrón de lluvias tiene tres componentes principales: la cantidad de lluvia disponible en el año (precipitación anual), la estacionalidad (distribución de la lluvia en el año) y la marcha

mensual de la precipitación (frecuencia de la lluvia mensual). Para poder determinar estos patrones es necesario realizar estudios regionales con series de datos mayor a 20 años.

En zonas tropicales con marcada influencia de los ciclones tropicales, el patrón de lluvias está determinado por pocas tormentas. La disponibilidad del agua en el suelo y la erosividad de estas depende de sus características (tales como frecuencia, intensidad, duración, etc.).

Los ecosistemas tropicales son muy susceptibles a la degradación de los suelos. El nivel de degradación que puede alcanzar el suelo depende de sus características y de la intensidad del uso bajo el cual está sujeto. La intensidad del uso tiene dos aspectos: el grado de transformación del ecosistema y su tiempo de uso. Es bien conocido, que cuando mayor es el grado de transformación, la degradación del suelo es mayor (v.g. la deforestación con maquinaria aumenta considerablemente las tasas de erosión; Lal, 1987). Por otro lado, el tiempo de uso también afecta el nivel y la susceptibilidad a la degradación del suelo. En zonas tropicales, la técnica de roza-tumba-quema ha sido muy utilizada. Esta técnica aprovecha la capacidad natural de la recuperación de la selva (Gómez-Pompa y Burley, 1991). El aumento del tiempo continuo de uso y la disminución del tiempo de descanso, han acelerado los procesos de degradación (Jordan, 1989; Ramakrishnan y Toky, 1981). Esta intensificación de las tierras tropicales es muy común debido a la presión demográfica y sobretodo a su incorporación a la producción extensiva en la economía de mercado (Fernández y Tarrío, 1988). Para poder proponer alternativas de manejo adecuadas de los ecosistemas tropicales acordes a las condiciones actuales del país, es necesario conocer cuáles son los patrones de la degradación del suelo por el uso intensivo.

Una consecuencia importante en el manejo actual de la tierras tropicales es el uso homogéneo de las unidades del paisaje. Cada unidad tiene un riesgo diferente a la degradación de los suelos. Los sitios con altos niveles de erosión son los que sufren la mayor pérdida de nutrientes y reducción en la productividad de los cultivos (Voroney et al., 1981; Stone et al., 1985). La intensidad del uso del suelo debe considerar la diferente susceptibilidad a la degradación en cada una de las unidades del paisaje.

El presente trabajo se desarrolló en un ecosistema tropical estacional. El sitio de estudio se localiza en el ejido de San Mateo en la zona de Chamela, que pertenece al Municipio de La Huerta en el Estado de Jalisco, México (Figura 1). Actualmente, en esta zona la selva baja caducifolia está siendo sustituida por praderas inducidas para ganado (con pastos buffel Cenchrus ciliaris L. y guinea Panicum maximum Jacq. principalmente) a velocidades alarmantes (en 1982 se transformaron 26,768 ha de selva a pasturas, De Ita-Martínez et al., 1991). En el municipio de La Huerta, las praderas inducidas ocupan el 47% de su superficie (INEGI, 1990).

Las razones para escoger a Chamela como sitio de trabajo fueron tres: i) Chamela presenta la problemática general del manejo del trópico estacional latinoamericano, ii) la reciente explotación de la costa de Jalisco, permite reconstruir la historia de manejo de las parcelas y iii) existe en este sitio, un proyecto a largo plazo que estudia la estructura y dinámica de la selva baja caducifolia por el Centro de Ecología, UNAM.

Los dos aspectos de la degradación del suelo que se estudiaron en el presente trabajo fueron la erosión y su pérdida de nutrientes. El factor principal que se consideró fué el tiempo de uso de los potreros. Se utilizó una cronosecuencia de uso agropecuario: selva 1, 3, 7 y 11 años de uso. Hacia el interior de cada parcela se dividió el muestreo las tres unidades del relieve: cresta, ladera y pie de ladera.

Para determinar el efecto del tiempo de uso sobre la erosión en una cronosecuencia, fue necesario utilizar un método que permitiera medir cuantitativamente la pérdida de suelo, a escalas mayores de parcelas experimentales y que mantuviera el registro de erosión en todo el tiempo de uso de cada una de las parcelas. Se aplicó el método de la distribución de Cs-137 en el perfil del suelo con la técnica de espectrometría gamma. Este trabajo representa una de las primeras experiencias de la utilización de este método en zonas tropicales.

La tesis está estructurada en forma de publicaciones independientes y está organizada de la siguiente manera: los capítulos I, II y III discuten el problema de erosión en México, los capítulos IV y V presentan un análisis del patrón de lluvias, el capítulo VI analiza la utilización del método de Cs-137 para medir erosión en el sitio y el análisis del efecto del tiempo de uso en la degradación del suelo se presenta en los capítulos VII y VIII. El primer capítulo presenta un análisis sobre la situación actual de la erosión en México. El segundo capítulo, es una revisión de la bibliografía de la erosión en México, estableciendo las líneas de investigación que se han seguido en el país. El tercer capítulo, hace un análisis de los principales métodos de conservación de suelos aplicables a las zonas tropicales y cuáles han sido sus problemas de implementación en México. El capítulo IV es un estudio regional del patrón de lluvias con series de datos con más de 25 años de registro. El capítulo V analiza el comportamiento de las lluvias por tormentas y el nivel de erosividad de estas, con datos meteorológicos de la estación de Biología Chamela, UNAM. El capítulo VI es un estudio metodológico de la utilización de la distribución de Cs-137 en el suelo para medir erosión en Chamela. El capítulo VII aborda el problema de la reducción de la fertilidad del suelo por el tiempo de uso agropecuario y el capítulo VIII analiza la sustitución de la materia orgánica del suelo con origen en la selva por la que tiene origen en la pradera. En este último capítulo, se aborda la materia orgánica por su importancia dentro de los procesos del suelo. Por último, se realizan conclusiones.

### 3. Referencias

- 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.
- Bormann, F.H. and G.E. Likens 1979. Pattern and process in a forested ecosystem. Springer-Verlag, 253 pp.
- Brady, N.C. 1974. The nature and properties of soils. MacMillan Publishing Co., 639 págs.
- Jordan, C.F. 1985. Nutrient cycling in Tropical forest Ecosystems. John Wiley & Sons. 189 pp.
- De Ita-Martínez, C., J. Sarukhán and J.M. Maass 1991. "Land use patterns on a tropical deciduous forest ecosystem on the Pacific Coast of Jalisco, Mexico". (Submitted to Agroforestry Systems).
- Fernández, L.M. y M. Tarrío 1988. "Ganadería y crisis agroalimentaria" Revista Mexicana de Sociología. 50 (12): 51-95.
- Gómez-Pompa, A. y F.W. Burley 1991. "The management of natural tropical forests". In: A. Gómez-Pompa, T.C. Withmore and M. Hadley (Eds.) Rain forest regeneration and management. UNESCO-The Phathernon Publishing group. pp: 3-18.
- Helvey, J.D., A.R. Tiedmann and T.D. Anderson 1985. "Plant nutrient losses by soil erosion and mass movement after wildfire." J. Soil and water conservation 40(1): 168-173.
- INEGI 1990. Encuesta Nacional Agropecuaria Ejidal 1988. Ejidos y comunidades agrarias. Vol. 2 SPP, México. 422 pp.
- Janzen, D.H. 1986. "Tropical dry forests: the most endangered major tropical ecosystem". In: E.O. Wilson (Ed.) Biodiversity. National Academic Press. USA. pp: 130-137.
- Jordan, C.F. (ed.) 1989. An Amazonian rain forest. The structure and function of a nutrient stressed ecosystem and the impact of slash-and-burn agriculture. Man and the Biosphere Series 2. UNESCO-The Phathernon publishing group.
- Kirkby, M.J. 1980. "El problema de erosión." In: M.J.Kirkby R.P.C.Morgan Erosión de suelos. Limusa: 15-34.
- Lal, R. 1976. "Soil erosion on alfisols in western Nigeria.V. The changes in physical properties and the responses of crops." Geoderma 16: 419-431.
- Lal, R. 1987. Tropical ecology and physical edaphology. John and Wiley sons.
- Lanly, J.P. 1982. Tropical forest resources. FAO Forestry Paper 30. FAO, Rome. 160 pp.
- Larson, W.E., J. Pierce, and R.H. Dowdy 1983. "The threat of soil erosion to long-term crop production." Science 219: 458-465.
- Maass, J.M., C.F. Jordan and J. Sarukhán 1988. "Soil erosion and nutrient losses in seasonal tropical agroecosystem under various management techniques." J. Appl. Eco. 25: 595-607.
- May, R.M. 1977. "Thresholds and breakpoints in ecosystems with a multiplicity of stable states." Nature 269: 471-477.

- Mbagwu, J.S.C., R. Lal and T.W. Scott 1984. "Effects of desurfacing Alfisols and Ultisols in southern Nigeria. I. Crop performance" Soil Sci. Soc. Am. J. 48: 828-833.
- Monk, C.D. 1975. "Nutrient losses in particulate form as weir pond sediments from four unit watersheds in the Southern Appalachians." In: F.G.Howell, J.B.Gentry and M.H.Smith Mineral cycling in southerneast ecosystemms ERDA symposium series: 862-867.
- Morgan, R.P.C. 1979. Soil erosion Longman Inc. 113 pp.
- O'Neill, R.V., D.L. De Angelis, J.B. Waide, T.F.H. Allen 1986. A hierarchical concept of ecosystems. Princenton University Press: 253 pp.
- Pimm, S.L. 1986. "Community stability and structure." In: M.E. Soule Conservation Biology. The science of scarcity and diversity. Sinauer: 309-329.
- Ramakrishnan, P.S. and O.P. Toky 1981. "Soil nutrient status of hill agro-system and recovery pattern after slash and burn agriculture (Jhum) in northeastern India". Plant and Soil 60: 41-64.
- Stone, J.R., J.W. Gilliam, D.K. Cassel, R.D. Daniels, L.A. Nelson and H.J. Kleiss 1985. "Effect of erosion and landscape position on the productivity of Piedmont soils" Soil Sci. Soc. Am. J. 49: 987-991.
- Swank, and J.B. Waide 1980. "Interpretation of nutrient cycling research in a management context: Evaluating potencial effects of alternative management strategies on site productivity." Ann. Biol. Collog. Oreg. 4: 137-158.
- Thornes, J.B. 1980. "Proceso erosivo de las corrientes de agua y sus controles espaciales y temporales: un punto de vista teórico." In: M.J. Kirkby y R.P.C. Morgan Erosión de suelos Limusa: 165-226.
- Toledo, V.M., J. Carabias, C. Toledo y C. González-Pacheco 1989. La producción rural en México: alternativas ecológicas. Fundación Universo Ventiuno, México. 402 pp.
- Trojan, P. 1984. Ecosystem homeostasis Dr. W. Junk Publishers. Netherlands and PWN, 132 pp.
- Trudgill, S. 1979. Soil and vegetation system. Clarendon Press. 179 pp.
- Ulrich, B. 1984. "Stability and destabilization of central european forest ecosystems-a theoretical, data based approach." In: Cooley & Golley. Trends in ecological researche. Plenum Press: 217-237.
- Voroney, R.P., J.A. Van Veen and E.A. Paul 1981. "Organic C dynamics in grassland soils. 2. Model validation and simulation of the long-term effects of cultivation and rainfall erosion" Can. J. Soil Sci. 61: 211-224.
- Webster, J.R., J.B. Waide, and B.C. Patten 1979. "Nutrient recycling and the stability of Ecosystem." In: Shugart & O'Neill. System Ecology. Dowden, Hutchinson and Ross: 136-162.
- Wischmeier, W.H. and D.D. Smith 1978. Predicting rainfall erosion losses, a guide to consevation planing. USDA. 58 pp.

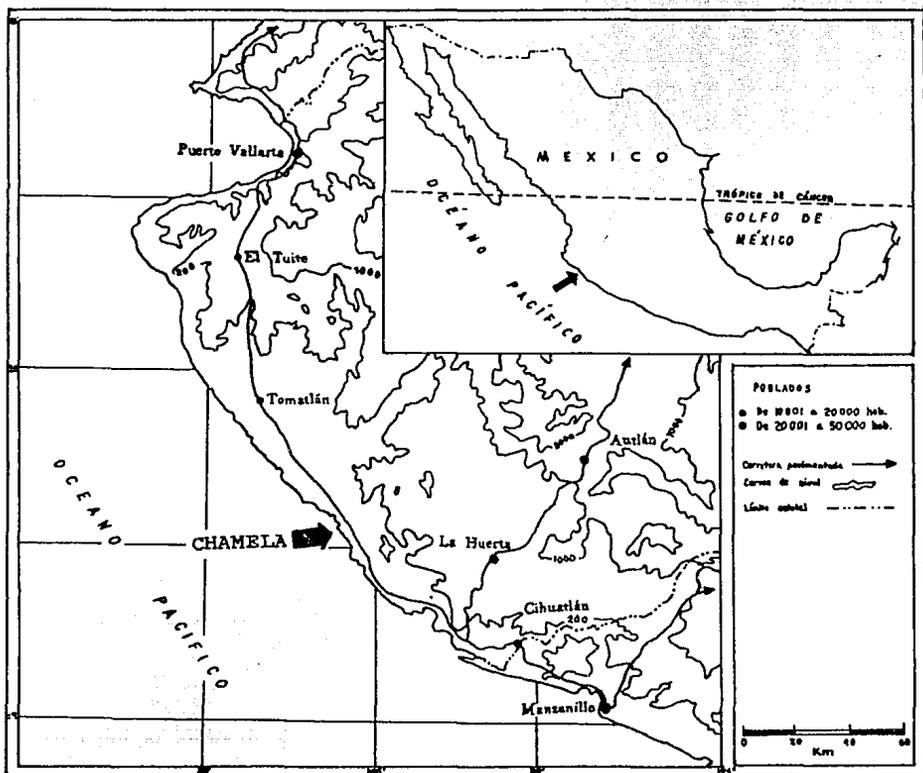


Fig. 1. Localización de Chamela, Jalisco, México.

## **CAPITULO I**

### **LA CONSERVACION DE SUELOS EN ZONAS TROPICALES: EL CASO DE MEXICO**

Ciencia y Desarrollo 15 (90): 21-36.

# La conservación de suelos en zonas tropicales: el caso de México

por José Manuel Maass M. y Felipe García-Oliva

*Al analizar la vulnerabilidad de los ecosistemas tropicales al proceso erosivo, los autores presentan el caso de nuestro país y, con ello, hacen un llamado para abordar el problema desde los enfoques agrícola, ecológico, económico y social*

**L**a erosión hídrica, la erosión eólica, la salinización, la contaminación y la inundación son algunos factores que contribuyen al deterioro de los suelos. Sin duda, la primera es una de las fuentes más importantes de degradación de suelos en zonas tropicales. En el presente artículo se analiza con detalle dicho proceso.

La conservación de suelos es una tarea muy difícil en cualquier parte del mundo, dada la multitud de variables que intervienen en el proceso de erosión hídrica. Sin embargo, existen dos razones importantes por las que dicha conservación es aún más difícil en zonas tropicales que en las templadas. En primer lugar, las tasas de erosión hídrica suelen ser mayores en zonas tropicales, porque poseen ecosistemas altamente vulnerables al proceso erosivo y, además, están sujetas a transformaciones agropecuarias y forestales drásticas. En segundo lugar, los países templados generalmente cuentan con mayores recursos económicos, científicos y tecnológicos para hacer frente a los problemas de conservación.

A continuación se analiza por qué los ecosistemas tropicales son más vulnerables al proceso erosivo. Posteriormente, se trata la problemática de conservación de suelos en el caso mexicano.

---

## Vulnerabilidad de los ecosistemas tropicales

---

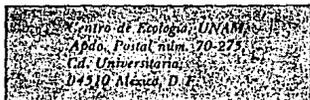
El movimiento del suelo por efecto de la escorrentía superficial es un proceso natural que se da prácticamente en todas las regiones del mundo. En los ecosistemas sin perturbar, los procesos pedogenéticos (formadores del suelo) compensan las pérdidas edáficas, producto de la erosión hídrica, de tal forma que la cantidad de suelo disponible se mantiene relativamente constante en el tiempo. Los procesos de erosión hídrica se aceleran cuando el ecosistema es perturbado por causas naturales: ciclones, incendios, etcétera, o por actividades humanas: transformaciones con fines agropecuarios y silvícolas, construcción de infraestructura, entre otras. Frecuentemente, la erosión acelerada no puede ser compensada por los lentos procesos de formación del suelo, lo que causa un empobrecimiento paulatino del ecosistema. El grado de deterioro del suelo depende entonces de la vulnerabilidad del sistema y de la magnitud

de la perturbación. A su vez, la vulnerabilidad del sistema depende de las características del sitio, como el clima (principalmente la intensidad de las lluvias), el tipo de vegetación, el tipo de suelo y la topografía. La magnitud de la perturbación se relaciona con el fenómeno perturbador, ya sea natural o provocado por el hombre (tipo de perturbación, intensidad, frecuencia y área afectada).<sup>1</sup> Así, mientras más vulnerable sea el sistema y mayor la magnitud de su perturbación, más severa será la degradación del suelo por efecto de la erosión hídrica y más problemática su conservación.

### El clima

El efecto deletéreo de la lluvia comienza cuando la vegetación es removida, ya sea por desmontes, al preparar la parcela para el cultivo, al cosechar el producto de la siembra, o por pastoreo. Esto deja al suelo desnudo y expuesto a la acción directa de las gotas de lluvia. La expresión "erosividad de la precipitación" se refiere a la efectividad con que la lluvia acelera la erosión del suelo.<sup>2</sup>

Dado que en general la energía cinética de la lluvia se toma como la fuerza promotora de la erosión, varios autores han usado este parámetro para crear un índice de erosividad de la lluvia.<sup>3,4,5</sup>



Localidad	Lluvia (mm)	Erosividad anual - (R)	
		Megajoules por milímetros	Hectáreas por hora, por año
Washington, EE.UU. <sup>50</sup>	864		200
Huancayo, Perú <sup>1</sup>	724		1 500
Los Angeles, EE.UU. <sup>19</sup>	762		1 600
Quito, Ecuador <sup>9</sup>	1 109		2 240
Francia central <sup>16</sup>	800		3 500
Illinois, EE.UU. <sup>16</sup>	1 016		3 500
Tennessee, EE.UU. <sup>60</sup>	1 270		4 000
Georgia, EE.UU. <sup>60</sup>	1 397		6 000
S. Louisiana, EE.UU. <sup>19</sup>	1 397		6 000
Quagadougou, Alto Volta <sup>16</sup>	869		7 500
Chamela, México <sup>40</sup>	733		7 737
Costa del Golfo, EE.UU. <sup>16</sup>	1 575		9 500
Ibadan, Nigeria <sup>5</sup>	1 236		9 928
Valdesia, R. Dominicana <sup>16</sup>	1 124		11 230
San Salvador, Salvador <sup>16</sup>	1 776		11 500
Mayaguez, P. Rico <sup>16</sup>	2 007		13 530
Quemados, R. Dominicana <sup>16</sup>	1 414		14 280
Mangalore, India <sup>18</sup>	924		14 570
Conakry, Guinea <sup>16</sup>	4 285		20 000
Douala, Camerún <sup>18</sup>	4 001		20 000
Abidjan, C. Marfil <sup>16</sup>	2 144		21 920
Jakarta, Indonesia <sup>16</sup>	1 793		23 700
Iquitos, Perú <sup>18</sup>	2 845		28 000
Smithfield, Jamaica <sup>18</sup>	2 500		26 030

Cuadro 1 Promedio anual de precipitación y erosividad de la lluvia para varias localidades en el mundo

El más popular es el índice "EI<sub>30</sub>" de Wischmeier, que consiste en multiplicar la energía cinética de una tormenta (E) por la intensidad de sus 30 minutos más fuertes (I<sub>30</sub>). La suma de la erosividad de todas las lluvias de un año, en una localidad dada, se denomina "erosividad anual" y se designa como "R".

Recientemente se reconoció que las tormentas tropicales son más erosivas que las producidas en zonas templadas (véase cuadro 1); la razón de esto es la mayor frecuencia de lluvias intensas en los trópicos. En el cuadro 2 se muestra la intensidad de varias tormentas, ocurridas en algunas zonas tropicales del mundo. Lal<sup>1</sup> menciona que, en estas áreas, las tormentas ocasionalmente llegan a tener intensidades mayores a los 200 milímetros por hora (mmhr<sup>-1</sup>).

Es interesante notar que algunas zonas tropicales presentan un promedio anual de precipitación menor que el de otras zonas templadas y, aún así, tienen valores elevados de erosividad de la lluvia. Tal es el caso de la región de Chamela, Jalisco, cuya precipitación anual es menor a los 750 mm y tiene valores

de erosividad de la lluvia mayores que los consignados para el sureste de Estados Unidos con precipitaciones anuales arriba de los 1 000 mm (véase Tennes-



La erosión hídrica, sin duda, representa una de las fuentes más importantes de degradación de los suelos. La fotografía muestra una porción de Yanhuitlán en Oaxaca

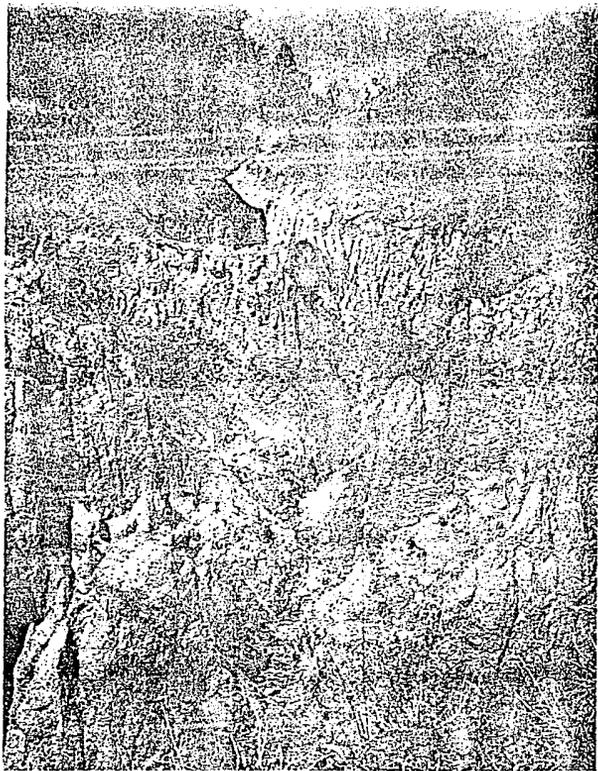
see, Georgia y Louisiana en el cuadro 1). Esto se debe a que las lluvias en Chamela son muy esporádicas e intensas.

Además de los problemas de erosión hídrica, las lluvias que incorporan grandes volúmenes de agua al ecosistema traen consigo pérdidas importantes de nutrientes por lixiviación. Los ecosistemas tropicales, sujetos a lluvias torrenciales, son más susceptibles a las pérdidas de nutrientes minerales del suelo que los ecosistemas templados.

La temperatura es otro factor climático que afecta diferencialmente a zonas tropicales y templadas. En aquellas no sólo se registran los valores promedio más altos de temperatura, sino que además esta se mantiene elevada durante gran parte del año. Las altas temperaturas asociadas con disponibilidad constante de humedad, dan por resultado mayores tasas de descomposición en zonas tropicales. Como se verá más adelante, la perturbación de los ecosistemas tropicales trae consigo altas pérdidas de materia orgánica al acelerarse los procesos de descomposición.<sup>1,6,7</sup>

#### Tipo de vegetación

Desde hace dos o tres decenios, Mac Arthur, Elton, Hutchinson y Margalef, entre otros, pusieron de manifiesto que comunidades más complejas tienden a poseer mayor estabilidad.<sup>8</sup> Dado que los ecosistemas tropicales son más comple-



Los procesos de erosión hídrica se aceleran cuando el ecosistema es perturbado sea por causas naturales, o por las actividades humanas. Aquí aparece un aspecto de El Oro, Estado de México

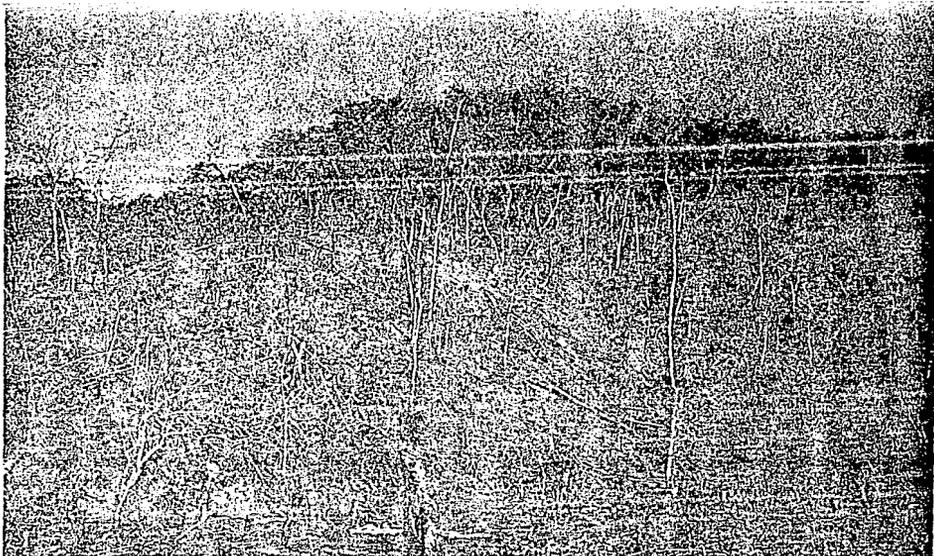
jos y diversos que los templados, se esperaría que los primeros fueran más estables y, por lo tanto, menos vulnerables a las perturbaciones. Sin embargo, cada vez existen más evidencias que aseguran que los ecosistemas tropicales son más frágiles que los ecosistemas templados.<sup>10</sup> La estabilidad de aquellos sólo se mantiene mientras las perturbaciones existentes sean tenues y restringidas a áreas pequeñas.<sup>10</sup> Gómez-Pompa, Vázquez-Yanes y Guevara, en su ya clásico trabajo "La selva tropical húmeda: un recurso no renovable",<sup>11</sup> mencionan que la selva tropical húmeda, bajo un uso extensivo e intensivo de la tierra, pierde su capacidad de regeneración, pues "el acceso a la fuente de semillas

de las especies de árboles primarios para regeneración se vuelve cada vez más difícil, a causa de la escasez de individuos de estas especies y sus características de dispersión". En contraste, en "áreas templadas las especies de árboles primarios están representadas en la mayoría de los casos por un gran número de individuos y el área de distribución de numerosas especies templadas es amplia; además, muchas de ellas tienen semillas adaptadas a periodos de inactividad (inviernos rigurosos), y por lo tanto conservan su vitalidad (latencia y viabilidad prolongada) por mucho tiempo mientras se encuentren enterradas en el suelo". También dicen que "estos hechos presentan un panorama muy distinto del comportamiento de la tierra demudada para uso agrícola y su posible regeneración futura en las zonas templadas, al que presenta en las zonas cálido-húmedas tropicales". Finalmente, aclaran que "en áreas tropicales secas, con una estación seca definida, el problema es muy distinto y las plantas probablemente se comportan, respecto a los problemas de regeneración bajo explotación intensiva, de una manera muy similar a las de áreas templadas. La razón es que estas plantas están de alguna manera adaptadas para grandes perturbaciones, ya que poseen características apropiadas para la supervivencia durante periodos de condiciones adversas (sequía, fuego)".

Ng, F. S. P.<sup>12</sup> señala que existen limitantes para recuperar grandes áreas de selva ya que: a) la mayoría de las especies que se encuentran en estos sistemas

Localidad	Lluvia (mm)	Máxima intensidad (mm/h)	Duración
Ibadan, Nigeria	41	162.0	15 min
Monrovia, Liberia	119	477.6	15 min
Plumb, Jamaica	198	792.4	15 min
Colombo, Sri Lanka	254	169.3	80 min
Kalani V., Sri Lanka	508	21.2	24 h
Baguio, Filipinas	1,168	48.7	24 h
Funkko, Formosa	1,671	34.8	48 h
Baguio, Filipinas	2,010	31.9	63 h
Cherrapunji, India	2,587	26.9	96 h

Cuadro 2. Altas intensidades de lluvias, reportadas para varias localidades en zonas tropicales.<sup>12</sup>



Las tasas más altas de erosión se dan en los trópicos. Esto sugiere que la erosividad pluvial y la topografía son factores críticos determinantes de la erosión en esas áreas. Paisaje tomado en Chamela, Jalisco

tiene baja densidad, un alto grado de endemismo y varias son dioicas, y b) muchas especies dependen de animales para su germinación.

Otro factor que hace más vulnerables a las selvas tropicales es que en ocasiones el almacén más importante de nutrientes en estos ecosistemas se da en la vegetación, y su persistencia depende de la dinámica de la misma. Jordan y Stark,<sup>13</sup> en San Carlos de Río Negro, Venezuela, determinaron que el reciclaje directo de nutrientes minerales por la vegetación desempeña un papel muy importante, dada la escasez de nutrientes en el suelo. Puntualizan que la remoción de la vegetación del ecosistema perjudica por un lado el almacén de nutrientes y, por otro, dificulta su recuperación.

### La topografía

La topografía tiene una gran influencia en el poder erosivo del agua de escorrentía. Para que exista el escurrimiento se requiere un gradiente de altura. Mientras mayor sea, mayor velocidad y fuerza erosiva tendrá el agua de escorrentía. En otras palabras, podemos decir que la energía del agua de escorren-

tía es proporcional a la pendiente del terreno.

En las zonas tropicales, la topografía no necesariamente es más accidentada. Sin embargo, la gran densidad de población, los patrones de uso y tenencia de la tierra y la elevada demanda de nuevas tierras para cultivo han forzado a los campesinos a utilizar áreas con pendientes muy pronunciadas, inclusive mayores que el 100%. Esto ha traído consigo problemas más severos de erosión en estas zonas, que en las templadas.

### Los suelos

Entre las propiedades físicas que caracterizan un suelo determinado, su estructura es una de las más importantes en relación con el problema de la erosión. La estructura afecta la velocidad a la que el agua se infiltra; una infiltración alta reduce la escorrentía y por tanto la erosión. La estructura también influye en la resistencia del suelo al efecto degradador de las gotas de lluvia.<sup>14</sup>

Algunos autores afirman que generalmente los suelos tropicales tienen mejor estabilidad en sus agregados y, por tanto, sus tasas de infiltración son mayo-

res que las que presentan los suelos templados.<sup>14,18</sup> Sin embargo, las mayores tasas de erosión están en los trópicos, lo que sugiere que la erosividad de la lluvia y la topografía, más que la estabilidad de los agregados de los suelos, son los factores críticos que determinan la erosión en estas áreas.

### Manejo agropecuario

En un análisis del efecto que tienen diferentes grados de perturbación en la estructura y función de ecosistemas tropicales, Jordan<sup>19</sup> establece grados de perturbación con base en tres características importantes: 1) la intensidad de la perturbación, medida en función del grado de pérdida de la estructura de la vegetación y del suelo; 2) la frecuencia de la perturbación, tomando en cuenta tanto la duración de la perturbación como del efecto, y 3) el tamaño de la zona afectada, utilizando como criterio no sólo la superficie afectada, sino también la capacidad de los dispersores de semillas (aves y pequeños mamíferos) para cruzar la zona perturbada.

Como ejemplo, Jordan menciona que la caída de un árbol en medio de una selva crea una perturbación leve, pues

es de baja intensidad (no se pierde la estructura de la vegetación); de baja frecuencia ocurre muy esporádicamente y el sistema comienza a recuperarse muy rápido), y de área pequeña (unos cuantos metros cuadrados, que tanto aves como pequeños mamíferos pueden cruzar y por tanto incorporar nuevas semillas por procesos de dispersión. En contraste, la conversión de una selva en pastizal extensivo es una perturbación muy severa, de alta intensidad (la estructura de la vegetación original se pierde por completo al igual que la del suelo); una alta frecuencia (el pasto se quema anualmente para favorecer su crecimiento y, una vez abandonado, el efecto de la perturbación continúa por varios años), y de un área muy grande. Es común encontrar ranchos ganaderos de varios kilómetros cuadrados que imposibilitan a muchas aves y pequeños mamíferos de zonas no perturbadas dispersar semillas hacia la zona perturbada.

En las zonas tropicales y en las templadas, los ecosistemas naturales están sujetos a perturbaciones con fines agro-silvícolas, las cuales van desde muy ligeras hasta muy severas. Sin embargo, los patrones más comunes de explotación agroforestal (los monocultivos de gramíneas y las plantaciones inespecíficas de especies maderables y frutales) han sido desarrolladas en climas templados y para ecosistemas templados. Por consiguiente, dichas técnicas se adaptan mucho mejor a las condiciones naturales de sus ecosistemas (bosques monoespecíficos y pastizales naturales), que a los de los trópicos (selvas altamente diversas, tanto en su composición de especie como en su estructura y su funcionamiento). Esto se traduce en transformaciones mucho más intensas en zonas tropicales, ya que las estructuras de la vegetación y del suelo se alteran fuertemente.

Las diferencias en el manejo agrícola producen cambios significativos en las pérdidas de suelo y de nutrientes por efectos de la erosión (véanse cuadros 3 y 4). Por ejemplo, los sistemas agrícolas tradicionales en las zonas tropicales y subtropicales del mundo, como la agricultura de roza, tumba y quema, son altamente conservadores del suelo.<sup>1</sup> Si sólo se cultivaran pequeñas porciones de terreno y se permitieran largos períodos de descanso, las tasas de erosión serían

muy reducidas y la tierra recuperaría su fertilidad por medio de procesos naturales. Sin embargo, este tipo de agricultura de subsistencia únicamente se adapta en áreas con poca presión demográfica.<sup>20,21</sup> En años recientes, la expansión demográfica y la económica aumentaron la presión sobre la tierra, y grandes extensiones de selvas fueron abiertas a la agricultura continua. Esto provocó pérdidas de nutrientes y de suelo por lixiviación y erosión.<sup>20,22,24</sup> En 1978, la FAO estimó que algunos países subdesarrollados utilizaron la técnica de la roza-tumba-quema para cultivar 300 millones de hectáreas, de las cuales una gran proporción eran tierras marginales de zonas montañosas tropicales. Sheng<sup>24</sup> estima que cada año se desmontan entre 11 y 16 millones de hectáreas de bosques en los países en vías de desarrollo; al parecer, esta tendencia se mantiene, ya que la población mundial, una de las causas principales del problema, aún sigue en aumento.



En México, desgraciadamente, la pérdida de suelo sólo se considera un factor de disminución en la fertilidad agrícola y no como una fuente de degradación del ambiente. La fotografía pertenece a una región oaxaqueña.

Área de la cuenca (10 <sup>3</sup> km <sup>2</sup> )	Erosión (ton/ha/año)	Río	Localidad
30	0	Montingahela <sup>18</sup>	Noroccidente
193	0	Ohio	Norteamérica
884	0	Missisipi	Norteamérica
111	0	Niger	África
17	2	Nesha	África
1014	3	Dono	África
3	3	Nesha	África
15	7	Shirone	Asia
22	7	Yodo	Norteamérica
273	8	Yodo	Norteamérica
19	12	Zumbé	Norteamérica
5776	131	Amazonas <sup>18</sup>	Sudamérica
950	18	Orinoco	Sudamérica
108	21,0	Chao Phraya <sup>18</sup>	Asia
795	43,0	Mekong <sup>18</sup>	Asia
132	93,0	Maharad <sup>18</sup>	Asia
91	106,0	Caroní <sup>18</sup>	Sudamérica
430	139,0	Irrawaddy <sup>18</sup>	Asia
120	217,0	Rajo <sup>18</sup>	Asia
1076	270,0	Ganges <sup>18</sup>	Asia
20	284,0	Damodar <sup>18</sup>	Asia
668	479,0	Amanlio <sup>18</sup>	Asia
62	555,0	Kosi <sup>18</sup>	Asia

Cuadro 3. Erosión estimada para varias cuencas de algunos ríos del mundo

### I. Vegetación natural (bosques y selvas)

Erosión (ton ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )	Pendiente (%)	Localidad
0.01	33	Texcoco, México <sup>40</sup>
0.01	19	Texcoco, México <sup>40</sup>
0.01	27-38	Maunlden, GB <sup>51</sup>
0.02	30	Texcoco, México <sup>40</sup>
0.02	10-16	S. Caro, EE.UU. <sup>52</sup>
0.03	7	Abidjan, C. Marfil <sup>53</sup>
0.04	7	Gombak, Malasia <sup>54</sup>
0.04	21	Usambara, Tanzania <sup>55</sup>
0.04	7	W. Virginia, EE.UU. <sup>49</sup>
0.07	44	Usambara, Tanzania <sup>55</sup>
0.07	7	EE.UU. oriental <sup>48</sup>
0.07	7	EE.UU. occidental <sup>48</sup>
0.10	44	Usambara, Tanzania <sup>55</sup>
0.10	1	Ouagadougou, A. V. <sup>63</sup>
0.10	4	Bouake, Senegal <sup>59</sup>
0.19	41	Jalisco, México <sup>40</sup>
0.20	1	Sefa, Senegal <sup>53</sup>
0.34	7	Cameron, Malasia <sup>54</sup>
0.60	10	Divo, C. Marfil <sup>55</sup>
1.75	7	Costa Pac. EE.UU. <sup>48</sup>

### II. Pastizales inducidos

Erosión (ton ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )	Pendiente (%)	Localidad
0.00	6	Mpwapwa, Tanzania <sup>55</sup>
0.00	6	Botswana <sup>56</sup>
0.00	33	Tengeru, Tanzania <sup>56</sup>
0.04	27	Texcoco, México <sup>40</sup>
0.11	3	Nigeria oriental <sup>57</sup>
0.50	4	Pretoria, S. África <sup>58</sup>
0.67	20	Texcoco, México <sup>40</sup>
0.72	7	Mpwapwa, Tanzania <sup>58</sup>
0.1-0.3	5-19	Silsao, GB <sup>51</sup>
5.00	40-45	Puerto Rico <sup>15</sup>
7.10	22	Colombia <sup>10</sup>
10-98	41	Jalisco, México <sup>40</sup>

### III. Campos de maíz

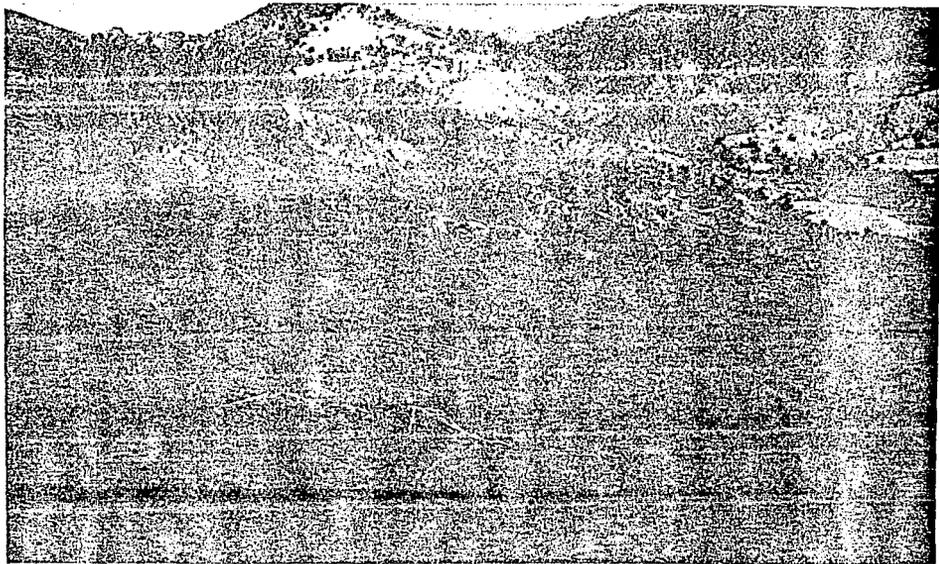
Erosión (ton ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )	Pendientes (%)	Localidad
0.91	3	Nigeria occidental <sup>57</sup>
3.1-5.5	4	Texcoco, México <sup>40</sup>
4.00	4	Pretoria, S. África <sup>58</sup>
10.20	6	Botswana <sup>56</sup>
10.30	2	Sera, Senegal <sup>52</sup>
10.50	6	Botswana <sup>56</sup>
11.00	4	Pretoria, S. África <sup>58</sup>
17.54	5	Mississippi, EE.UU. <sup>59</sup>
18.00	33	Tengeru, Tanzania <sup>56</sup>
24.06	5	Mississippi, EE.UU. <sup>59</sup>
27.70	15	Ibadan, Nigeria <sup>60</sup>
30.0-130	41	Jalisco, México <sup>40</sup>
34.00	7	Namulonge, Uganda <sup>54</sup>
127.20	30	Metapan, Salvador <sup>61</sup>

Cuadro 4. Pérdida de suelo por erosión de parcelas con bosque, pasto y cultivos de maíz en varias localidades del mundo

En relación con la erosión del suelo, el desmonte es con frecuencia la práctica agrícola más crítica durante la transformación de zonas vírgenes en tierras de cultivo. La quema, uno de los métodos más usados en la preparación del terreno para su cultivo, se considera una buena práctica, porque incorpora al suelo los nutrientes de la vegetación original y destruye plagas y maleza. Sin embargo, además de exponer el suelo al impacto directo de la lluvia, el fuego también quema una parte importante de la materia orgánica y destruye flora y fauna microbiana esenciales en los procesos naturales del suelo. Además, liberar a un mismo tiempo gran cantidad de nutrientes no es tan bueno, pues muchas veces se pierden del sistema por procesos de lixiviación, porque el suelo no tiene la capacidad de adsorberlos. Todo esto deteriora la estructura del suelo y acelera las pérdidas de suelo por erosión.<sup>21,23</sup>

Recientemente, el desmonte mecánico empezó a reemplazar al desmonte tradicional con hacha, machete y fuego. Aquél es más rápido y algunas veces más barato; sin embargo, es más dañino para el suelo. Fauck<sup>25</sup> menciona que el uso de maquinaria produce un cambio en la estructura de la capa superficial. En suelo con alto contenido de grava, la mecanización hace que ésta se acumule en la superficie y cause un cambio rápido en sus características físicas y químicas, lo que incrementa la erosión. Lai<sup>26</sup> llegó a medir pérdidas de suelo hasta diez veces mayores en desmontes mecánicos en relación con los tradicionales.

También existen varios factores de índole cultural, política y económica, que influyen en la manera de manejo de la tierra en una región en particular. Por ejemplo, Beaumont y Atkinson<sup>27</sup> mencionan que en Jordania el sobrepastoreo es un problema serio y difícil de controlar, porque la riqueza de una persona se mide con base en el número de cabezas de ganado que posee. La organización de la propiedad de la tierra también puede inducir al sobrepastoreo y a la remoción exagerada de la vegetación para usarla como fuente de combustible.<sup>4</sup> En México, donde la tenencia de la tierra fue una de las principales causas de la Revolución, es políticamente imposible para la transformación de las selvas y los bosques en tierra eji-



La problemática de la erosión en nuestro país no sólo indica una pérdida de productividad en los ecosistemas afectados; también conlleva problemas de azolve de presas, contaminación de ríos y lagos, inundaciones e inestabilidad socioeconómica. Aquí se aprecia otra zona de Yanhuitlán, Oax.

dal, aun en zonas con pendientes muy pronunciadas y no susceptibles para la agricultura. Asimismo, es importante considerar las restricciones económicas del campesino pues, como Hudson<sup>4</sup> puntualiza, un agricultor de subsistencia no es capaz de arriesgarse: prefiere usar una semilla de poca productividad, que por lo menos le proporciona algo para comer todos los años, a sembrar semillas mejoradas y correr un mayor riesgo de perderlo todo en un año fallido.

### La conservación de suelos en México

México, al igual que la mayoría de los países en desarrollo, no ha escapado al problema del crecimiento acelerado de su población. El constante incremento en las demandas de nuevas tierras para la agricultura es uno de los principales resultados de esta sobrepoblación. Dado que los terrenos planos son muy escasos, las zonas montañosas poco explotadas, no aptas para la agricultura, pasan a ser

fuente primordial de nuevas tierras. En un país como éste, donde múltiples cadenas montañosas corren a lo largo de su territorio, la agricultura de hadera es una actividad prácticamente inevitable. Andrade<sup>28</sup> estima que sólo el 14% del territorio mexicano tiene tierras susceptibles para la agricultura y que menos del 26% de éstas tiene posibilidades de irrigación. Señala también que, en 1975, 50.3% de la tierra cultivada (repartida en más de 2 450 000 pequeños propietarios) aportó solamente el 4.2% del producto agrícola nacional. Este fenómeno se debe a que en México pocos productores cuentan con tierra de buena calidad y millones de campesinos de subsistencia poseen tierra inapropiada para la agricultura.

El maíz, domesticado por primera vez por los mexicanos, constituye una parte esencial de su dieta diaria. De ahí que sea el principal producto agrícola nacional y que sea cultivado en todas las regiones del país durante gran parte del año. Desafortunadamente, el maíz no es un cultivo que conserve el suelo; por el contrario, dados sus requerimientos de

luz, agua y nutrientes, los individuos son plantados muy espaciadamente para evitar competencia entre ellos, y el suelo es frecuentemente desyerbado. Esto produce una escasa cobertura vegetal y una mayor susceptibilidad al proceso erosivo. Se considera al maíz como uno de los cultivos de surco más erosivos. Durante años, miles de hectáreas de selvas vírgenes se abrieron al cultivo de maíz, con autorización y ayuda del gobierno, a través de la Comisión Nacional de Desmontes. Actualmente, la deforestación continúa en tasas alarmantes.

En relación con la explotación pecuaria, la ganadería en México ha tenido aumentos sin precedentes en los últimos decenios. Toledo<sup>29</sup> menciona que con "un crecimiento anual acumulativo de 2.9%, la superficie ganadera pasó de los 38.8 millones de hectáreas en 1940 a más de 100 en 1983, en tanto que el número de reses creció de los diez millones en 1930 a los 37.5 millones en 1983" (véase figura 1). Dado el carácter fundamentalmente extensivo de la ganadería en México, este incremento

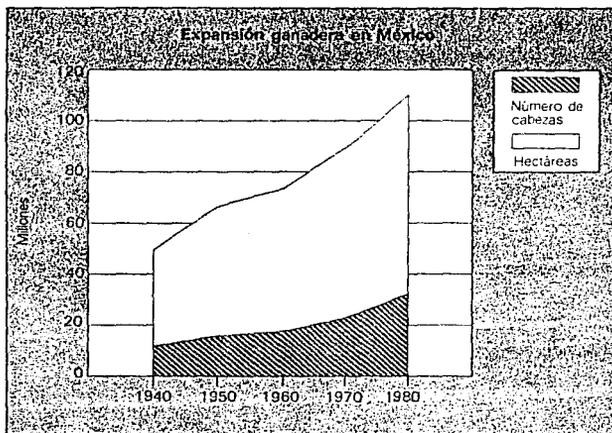


Figura 1.

produjo una disminución drástica en la cobertura forestal del país.

Toledo<sup>29</sup> estima que en los últimos 40 años la deforestación, debido a la expansión ganadera, abarca de uno a dos millones de hectáreas anuales. Como ejemplo menciona que, en Veracruz, "las selvas medianas y altas que cubrían originalmente el 54.8% de la superficie estatal, han quedado reducidas en 1980 a un 7.7% más un 9.5% de selvas secundarias"; además, 30.8% de su superficie está convertida en potreros y 32% en zona agrícola. En el caso de Tabasco, los ecosistemas selváticos, que cubrían 47% de la superficie, disminuyeron en 1979 a sólo 18%, más 20% de selvas secundarias, y con 46% convertida en potreros y 17% en zona agrícola (véase figura 2). Finalmente, Toledo cita a Rzedowski,<sup>30</sup> quien estimó que a finales de los setenta las selvas altas y medianas se habían reducido en 90% de su distribución original, que era del 11% de la superficie del país.

Seguramente, estas transformaciones drásticas de los ecosistemas naturales en campos de maíz y potreros han traído como consecuencia aumentos alarmantes en la degradación de suelos por efecto de la erosión hídrica. Sin embargo, su verificación no es una tarea fácil. Las personas interesadas en conocer el es-

tado actual de la degradación hídrica de los suelos en México se enfrentan a una literatura muy escasa, dispersa, de acceso difícil y, en ocasiones, confusa y contradictoria, lo que refleja la poca importancia que se le ha dado al pro-

blema. En un análisis de la bibliografía sobre erosión hídrica en México, Maass y García-Oliva<sup>31</sup> encontraron que más del 80% son documentos no publicados, o de difícil acceso (tesis, resúmenes en congresos, informes técnicos, etcétera). El 72% de los trabajos son recientes (aparecieron de 1980 a la fecha) y se observa un incremento exponencial a partir de los años setenta. A pesar de que muchas instituciones e investigadores han participado en proyectos sobre erosión hídrica, no se ha logrado formalizar una verdadera escuela en torno al problema. Sin embargo, existe la esperanza de que esta situación mejore dada la incorporación de investigadores jóvenes formalmente entrenados en el campo.

Con respecto al suelo afectado en el país, algunos trabajos presentan, de manera muy general, cifras alarmantes (véanse figuras 3 y 4). Baldwin, citado por Posner,<sup>16</sup> en una evaluación sobre el problema de erosión en Latinoamérica, realizada en 1945, estimó que para entonces México sufría problemas de erosión acelerada en el 45% de su territorio. Andrade<sup>28</sup> menciona que a mediados de los setenta, el 80% del país sufría problemas de erosión acelerada. Lal<sup>12</sup> señala que México es uno de los países latinoamericanos con problemas

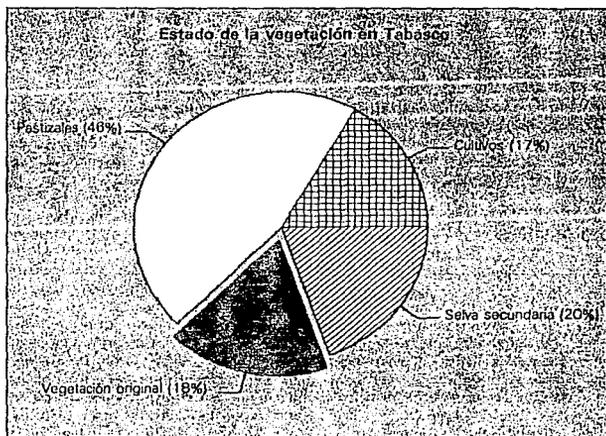


Figura 2

### Erosión acelerada en México

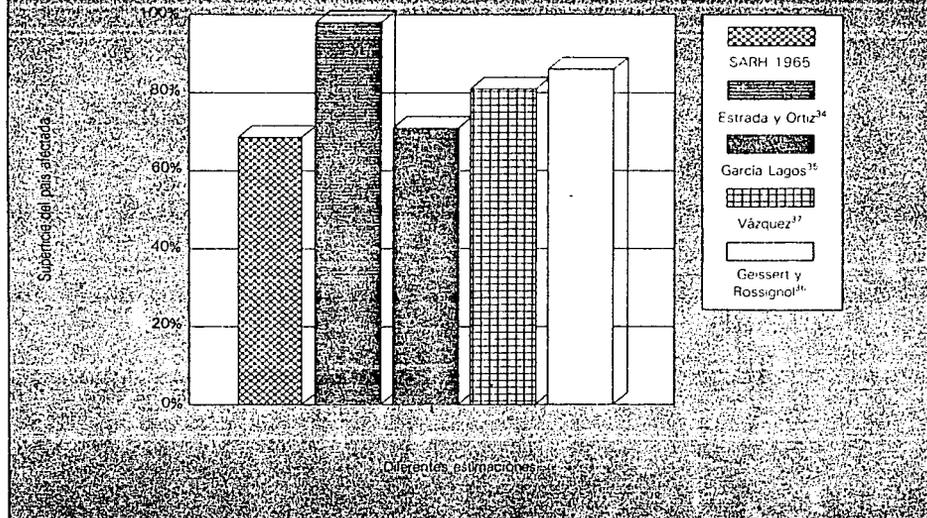


Figura 3.

de erosión más serios. También menciona que a finales de los setenta, cientos de miles de hectáreas perdieron su capacidad de producción agrícola debido a severos problemas de erosión de sus suelos. Mason<sup>33</sup> expresa que anualmente, debido a la erosión se pierden entre 150 000 y 200 000 hectáreas de tierra arable y comenta que, en los últimos 30 años, México ha perdido cinco veces más suelo que en toda su historia. Estrada y Ortiz<sup>34</sup> calcularon que, a principios de los ochenta, el 98% del país ya tenía evidencias de erosión acelerada; García Lagos<sup>35</sup> presentó un porcentaje un poco menor (71%), igualmente alarmante. Por último, Geisert y Rossignol<sup>36</sup> proporcionaron una cifra más reciente, del 86%.

Son igualmente desalentadores los datos oficiales proporcionados por la Dirección General de Conservación del Suelo y Agua (DGCESA), de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH). Para 1965, informaba que el

69% de la superficie del país manifestaba algún problema de erosión y que para 1986 el valor se incrementaría hasta 81% (véase figura 3). No obstante estas cifras, en México se ha hecho muy poco al respecto. De acuerdo con funcionarios de la SARH, en 1987 esta dependencia invirtió aproximadamente el 0.6% de su presupuesto anual en trabajos de conservación de suelos, mientras que en Estados Unidos se invierte más del 25% del presupuesto del Departamento de Agricultura. Esto da una idea del poco interés que la Secretaría muestra ante los problemas de erosión en México. Al entrevistar a algunos funcionarios de la SARH, respecto a ese problema se apreciaron varias causas de esta apatía; entre las más importantes se encuentran las siguientes:

a) Tradicionalmente, en México se ha utilizado un enfoque agronómico, más que ecológico, para analizar el problema de erosión hídrica. Frecuentemente, la pérdida de suelo sólo se ha

visto como un factor de disminución en la fertilidad agrícola y no como una fuente importante de degradación del ambiente (causante de azolve de presas, inundaciones, reducción en la recarga de acuíferos, eutrofización de lagos y ríos, etcétera). En México, la política agropecuaria se basa en el aumento de la productividad mediante la apertura de nuevas tierras al cultivo (desmonte de áreas vírgenes), el uso de fertilizantes para compensar las pérdidas de fertilidad, la introducción de variedades y razas mejoradas y el uso de maquinaria para hacer más eficientes las tareas agrícolas. Sin embargo, los esquemas de desarrollo aparentemente no toman en cuenta los efectos que produce este tipo de actividades más allá de las parcelas cultivadas, ni sus consecuencias a largo plazo. Las pérdidas de fertilidad se resuelven con medidas correctivas y no con preventivas.

b) Como consecuencia de este enfoque fuertemente agronómico, los es-

Grados de erosión en México estimada por diferentes autores

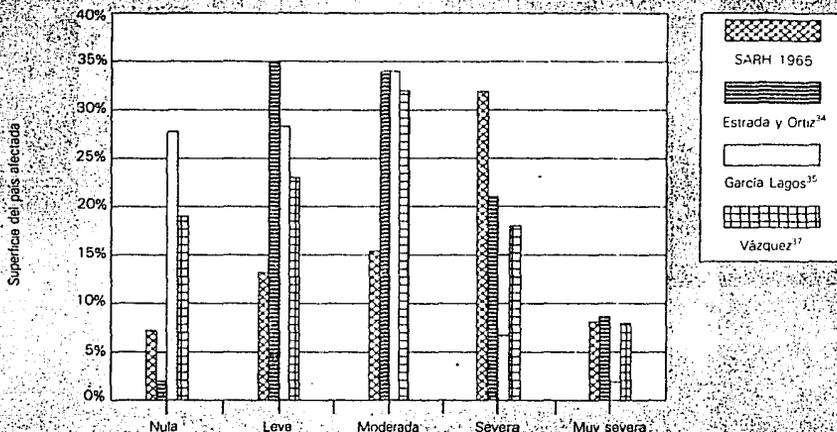


Figura 4.

fuerzas de desarrollo se concentran en las zonas productivas del país, que a menudo se encuentran en zonas planas donde los problemas de erosión no son tan graves. La agricultura de ladera, en cambio, ha sido descuidada por completo. Este abandono pretende ser justificado, ya que generalmente es tierra marginal de muy poca productividad; sin embargo, la superficie del país con este tipo de agricultura de ninguna manera es despreciable. Como ya se mencionó, solamente el 14% del territorio mexicano es apto para la agricultura, y menos del 26% tiene posibilidades de irrigación. Las altas tasas de erosión reportadas en México son, en gran medida, resultado del cultivo intensivo de maíz y de la ganadería extensiva en zonas montañosas bajo condiciones de un manejo agropecuario inadecuado.

c) Las tareas de conservación propuestas por la DGCSA son sumamente

costosas y a lo largo del tiempo no han mostrado la eficacia necesaria como para ser consideradas costeables. En un análisis de la conservación de suelo y agua en México, Vázquez<sup>37</sup> menciona que, en sus 37 años de existencia, la Dirección sólo ha logrado controlar el 2.16% de la superficie nacional afectada, además de que no ha podido crear una conciencia del problema de la erosión en México. Los cursos de capacitación y orientación campesina que la Dirección impartía en relación con la conservación de suelo y agua en México, se suspendieron desde hace tres años, pues no mostraron el fruto que se esperaba de ellos. En gran parte, esto se debió a que los esquemas de conservación de agua y suelo, propuestos por la dependencia no se apegaron a las condiciones sociales, culturales y económicas del país. Algunos centros de investigación, como el Centro de Ecología, el Instituto de Biología y el Ins-

tituto de Geografía de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), el Departamento de Suelos de la Universidad Autónoma Chapingo (UACH) y el Colegio de Postgraduados, han realizado estudios al respecto; sin embargo, no son lo suficientemente exhaustivos como para desarrollar a partir de ellos una política de manejo y conservación de suelo y agua, acorde con la realidad nacional.<sup>31</sup>

d) El fruto de las prácticas de conservación se observa en periodos largos, generalmente de más de seis años, por lo que éstas son poco atractivas políticamente, ya que un programa costoso de conservación de agua y suelo no rendirá frutos durante un periodo sexenal.

e) Los datos sobre pérdidas de suelo y agua en todo el país no son suficientemente claros y confiables como para crear conciencia sobre el problema de erosión. La mayoría de los datos pierden objetividad, porque se dictan

en términos cualitativos y no cuantitativos. Así, se usan términos como: *no manifiesta, leve, moderada, severa, muy severa, ligera, alta, total, incipiente, acelerada*, etcétera, los que rara vez son definidos, y cuando se definen tampoco resultan claros. Por ejemplo, la FAO-UNESCO considera que un suelo con erosión "muy severa" es aquél que ha perdido del 25% al 75% de su capa superficial y que presenta un grado de erosión "no manifiesta" de un 10% a un 25%. De ahí que, para que esas escalas cobren sentido se tienen que especificar las características del suelo como profundidad, fertilidad, textura, topografía, etcétera.

Las estimaciones cualitativas tienen tan poca resolución en la medición del proceso erosivo, que cuando se comparan estimaciones hechas en años diferentes los resultados son confusos y contradictorios. Así, por ejemplo, debido al incremento en las demandas de áreas de cultivo y al vertiginoso proceso de desmonte que ocurre en nuestro país en los últimos años, habría esperar que la erosión hubiera aumentado notablemente de 1960 a la fecha. Sin embargo, las estimaciones hechas por la DGCSA indican que la erosión *severa* no avanzó sino, por el contrario, se redujo, pues se informa que para 1986 el porcentaje de la superficie con erosión manifiesta fue del 78%, en comparación con más del 80% en 1960, y que el porcentaje de superficie con erosión total fue de sólo el 1.74%, en relación con el 16% consignado en 1960 (véase figura 4). Si estas estimaciones fueran correctas, indicarían que los trabajos de conservación han sido muy eficientes y que en los últimos años se ha podido detener por completo la erosión en nuestro país, lo

cual resulta difícil de creer por lo expuesto anteriormente.

En México existen dos importantes intentos de estimación cuantitativa del problema de erosión: el de Martínez-Menez y Fernández,<sup>36</sup> y el de Estrada y Ortiz.<sup>37</sup> Ambos utilizaron diferentes metodologías y obtuvieron resultados muy contrastantes. Martínez-Menez y Fernández,<sup>36</sup> consideraron los datos de azolve de los principales ríos del país, proporcionados por la Dirección General de Estudios de la Subsecretaría de Planeación de la SARH, que cuenta con una red de estaciones hidrométricas en los principales ríos del país. El estudio estima que la erosión promedio en México es del orden de 2.7 toneladas por hectárea por año ( $\text{ton ha}^{-1} \text{año}^{-1}$ ), con un rango de 0.2 en las cuencas menos afectadas (en el norte del país) a 7.4 en las cuencas más degradadas (en la costa del Pacífico). Estos datos no son altos si se comparan con los valores consignados para algunos de los principales ríos del mundo (véase cuadro 3). Asimismo, no parecen ser alarmantes, si se toma en cuenta que los valores tolerables de erosión (definidos en función de la capacidad natural de regeneración de los suelos) fluctúan entre 2.5 y 12.4  $\text{ton ha}^{-1} \text{año}^{-1}$ , para suelos muy someros y arcillosos, y para suelos profundos y arenosos, respectivamente.

Los datos de Martínez-Menez y Fernández son un excelente indicador de las zonas del país que están siendo severamente afectadas por el problema de erosión (véase figura 5). Sin embargo, como ellos aclaran, dada la naturaleza del muestreo, esos valores son *subestimaciones* de los valores reales de pérdidas de suelo y no proporcionan una idea clara de la magnitud del problema. Lo

que sucede es que gran parte del suelo lavado por erosión se deposita en las partes bajas y planas de las laderas y no llega a ser completamente arrastrado al lecho del río y hacia afuera de la cuenca. Como el sistema colector de azolves se encuentra generalmente a las salidas de las cuencas, todo este sedimento no llega a ser cuantificado.

Vázquez<sup>38</sup> hace un ajuste de los datos obtenidos por Martínez-Menez y Fernández tomando en cuenta algunas de las consideraciones anteriores y utilizando criterios del Servicio de Conservación de Suelos del Departamento de Agricultura de Estados Unidos. Calcula que el valor medio de erosión en las cuencas del país es de 46.9  $\text{ton ha}^{-1} \text{año}^{-1}$  con un rango de 2.9 a 126  $\text{ton ha}^{-1} \text{año}^{-1}$ , cifras muy superiores a los niveles tolerables de erosión ya mencionados.

Estrada y Ortiz<sup>37</sup> utilizaron la metodología FAO<sup>39</sup> para realizar un "Plano de erosión hídrica del suelo de México", basada en una modificación de la ecuación universal de pérdida de suelo propuesta por Wischmeier y Smith<sup>4</sup>, la cual tiene la desventaja de haber sido elaborada para condiciones muy específicas de pendientes suaves y climas templados. Su utilización en zonas con climas tropicales, relieve accidentado y fuertes pendientes puede producir estimaciones no muy exactas del grado de erosión existente. Llama la atención que Estrada y Ortiz concluyan que el problema de erosión en México aún no hace crisis, cuando 8.62% de la superficie del país (169 717  $\text{km}^2$ ) tiene pérdidas mayores a las 200  $\text{ton ha}^{-1} \text{año}^{-1}$  (20 veces mayores que los niveles tolerables de erosión) y 63.4% del territorio nacional (1 247 487  $\text{km}^2$ ) presenta tasas de pérdidas de suelo por encima de los nive-

Cobertura	2%	10%	20%	30%	40%
Suelo desnudo	5.41 (1)	12.66 (3)	—	—	—
Maíz	3.87 (3)	6.25 (2)	—	—	71.50 (1)
Pasto	—	—	0.34 (3)	0.17 (3)	45.00 (2)
Otro cultivo	1.83 (9)	—	—	—	—
Prácticas de conservación	0.24 (4)	—	—	—	5.80 (1)
Forestal	—	—	0.01 (1)	0.01 (1)	0.19 (1)

Cuadro 5. Tasas de erosión (en  $\text{ton ha}^{-1} \text{año}^{-1}$ ) en parcelas experimentales bajo diferente tipo de cobertura del suelo y diferentes pendientes. El número entre paréntesis indica el número de trabajos encontrados para cada caso. Cuando existieron más de un trabajo, se presenta el promedio<sup>41</sup>

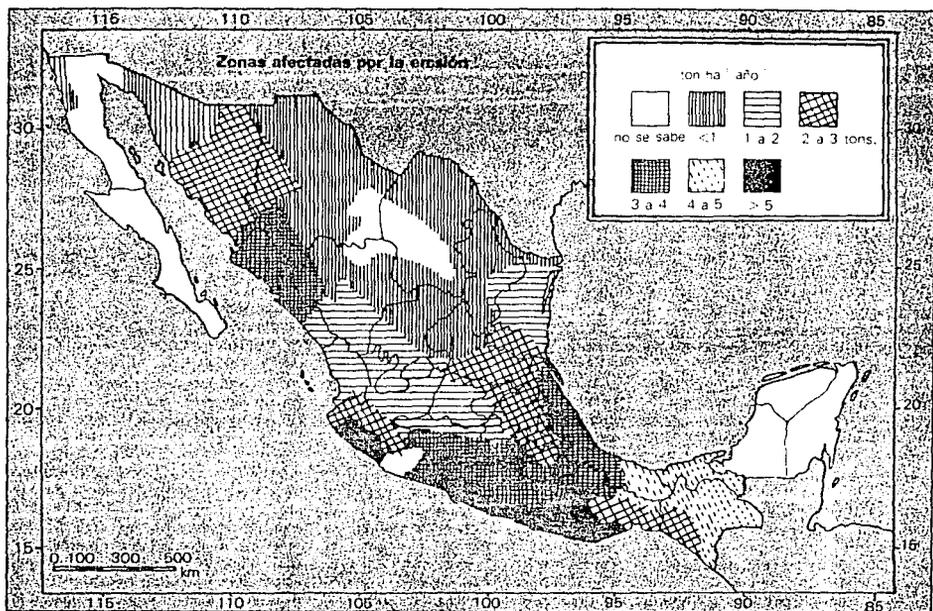


Figura 5

les tolerables de erosión (10 ton ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>). Tampoco consideran crítico que más del 50% de la superficie de los estados de Aguascalientes, Coahuila, Guanajuato, Michoacán, Tlaxcala y el Distrito Federal registren tasas de pérdida de suelo entre cinco y 20 veces más altas que las tasas tolerables (véanse figuras 6 y 7). El problema se debe, principalmente, a la interpretación cuantitativa de datos cualitativos. La metodología que utilizan Estrada y Ortiz permite obtener información sobre el riesgo erosivo en términos cualitativos (baja, moderada, severa, muy severa, etcétera) y es aventurada su traducción en términos cuantitativos (ton ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>).

Es difícil comparar resultados obtenidos con metodologías diferentes; sin embargo, los de Martínez-Menez y Fernández<sup>10</sup> contrastan tanto con los de Estrada y Ortiz<sup>11</sup> que es importante hacer notar las diferencias. Los primeros concluyen que el problema es serio; el valor promedio es menor que 5 ton ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, y que la zona más afectada del país es el trópico seco. Estrada y Ortiz<sup>11</sup> señalan que el problema no es grave; el valor

promedio es mayor que 50 ton ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, y que la zona más afectada del país es el norte. Así, se puede apreciar que aún no se tiene una idea clara sobre el problema de erosión hídrica del país.

La mayoría de los trabajos experimentales sobre erosión hídrica en México se han realizado a pequeña escala (lotes de escurrimiento) y en terrenos con pendientes poco pronunciadas (menores que 15%). Un análisis sobre dichos estudios muestra que las tasas de erosión varían mucho con el tipo de cobertura del suelo, y que no son particularmente altas (véase cuadro 5 y figura 8). Sin embargo, estudios a pequeña escala realizados en zonas montañosas atestiguan valores muy altos de erosión. Maass, Jordan y Sarukhán<sup>10</sup> reportan valores entre 30 y 130 ton ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> en cultivos de maíz con pendientes del 41% en la costa de Jalisco. Estos valores están muy por encima de los valores promedio mencionados en la literatura especializada (véase cuadro 4). Utilizando varillas enterradas en el suelo ("clavos de erosión"), Torres<sup>11</sup> calculó pérdidas entre 30.4 y 151.7 ton ha<sup>-1</sup>, en

cuatro meses, en la cuenca alta del río San Marcos, Tamaulipas, con pendientes entre 39% y 42%. Raa<sup>11</sup> señala valores de erosión entre 13.5 y 1296 ton ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> en la cuenca alta del río La Antigua, con pendientes entre 50 y 100%. Sancholuz<sup>12</sup> estima valores entre 62 y 492 ton ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> en cultivos de maíz con pendientes entre el 1% y el 25% en el estado de Veracruz. Raa y Sancholuz utilizaron la ecuación universal de pérdida de suelo propuesta por Wischmeier y Smith,<sup>3</sup> y los datos que presentan sí dan idea de la gravedad del problema de erosión en esas zonas montañosas (véase cuadro 6).

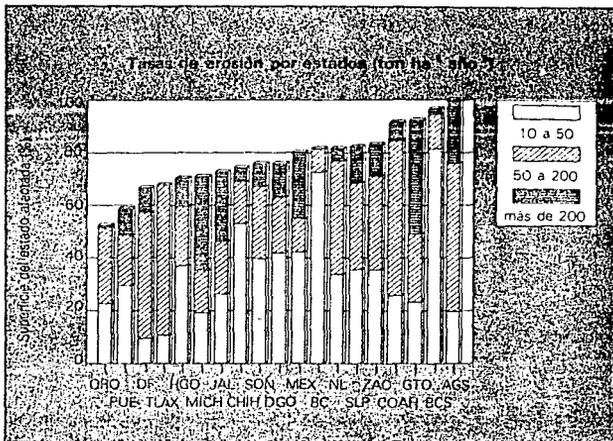
Finalmente, es importante recordar que los problemas de erosión no sólo se restringen a una pérdida de productividad en los ecosistemas afectados; también traen consigo problemas de azolve de presas, contaminación de ríos y lagos, inundaciones, reducción de acuíferos y, en última instancia, inestabilidad económica y social. Si, como hemos visto, la erosión en México es grave, de igual forma lo son los problemas asociados a ella. Martínez-Menez y Fernán-

dez.<sup>34</sup> calculan que anualmente se producen en el país 364.9 millones de toneladas de sedimentos, de las cuales 69% se descarga en el mar y el 31% restante (113.1 millones de toneladas) se deposita en las obras de infraestructura hidráulica; esto ocasiona que disminuya la capacidad de almacenamiento de agua.

## Alternativas de conservación

Como ya se mencionó, la conservación de suelos no es una tarea fácil y deben ser considerados muy seriamente problemas físicos, culturales y socioeconómicos. En este trabajo se ha hecho mucho énfasis en mostrar los problemas de erosión hídrica en México, pues mientras no exista una conciencia de su magnitud se hará muy poco al respecto. Sin embargo, aun cuando exista conciencia del problema e interés por resolverlo, se debe reconocer que en muchos casos no puede encontrarse la solución total del mismo. Como menciona Hudson,<sup>45</sup> "los campesinos seguirán cultivando en pendientes de 100%, porque no tienen otra opción. Se deben buscar maneras prácticas y aceptables para reducir la erosión lo más posible, pues la opción de cambiar el uso del suelo no siempre está abierta, a menos de que exista un cambio político, social y económico a nivel nacional".

Un ejemplo claro de la búsqueda de técnicas de control de erosión acordes con la realidad socioeconómica de la región, se puede ver en el trabajo de



Maass, Jordan y Sarukhán<sup>46</sup> en la costa de Jalisco. En esta región montañosa del país, cientos de hectáreas de selva tropical estacional son desmontadas anualmente con fines agropecuarios.<sup>44</sup> Maass, Jordan y Sarukhán<sup>46</sup> llegaron a medir pérdidas de suelo en cultivos de maíz hasta de 130 ton ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>. La solución técnica del problema sería evitar el uso de la selva con fines agropecuarios; sin embargo, esto es imposible debido a las altas demandas de tierras de cultivo, el arraigo del campesino por el maíz y el apoyo del gobierno a la cría de ganado a través de préstamos. El uso de terrazas como técnicas de conservación no es factible en términos económicos, dado el costo excesivo de las mismas en comparación con la poca productividad

agrícola de los suelos de la región. Por esto, los autores mencionados optaron por evaluar posibles técnicas alternativas de manejo agrícola que fuesen simples, sin costo económico, que cambiaran muy poco la manera como tradicionalmente se cultiva el pasto y el maíz en la zona y que representarían una reducción a los problemas de erosión. Probaron la utilización de hojarasca de la selva como cobertura protectora del suelo en campos de maíz, la utilización de franjas de pasto como estabilizadores de suelo erosionado y la selección de pastos que aumentarían la cobertura vegetal y la retención de suelo. La utilización de hojarasca como cobertura protectora resultó ser una opción viable al reducir la erosión hasta en 90%, aumentando la productividad del maíz en 30%. Asimismo, vieron que cultivos de pasto Guinea (*Panicum maximum*) son menos propensos a la pérdida de suelo por erosión que los de cultivos de pasto buffel (*Cenchrus ciliaris*) (véase figura 9).

El desarrollo de técnicas de control de erosión para las condiciones particulares de una región es de suma importancia. Como Foster, Moldenhauer y Wischmeier<sup>45</sup> puntualizan, el conocimiento y entendimiento de los principios de la erosión del suelo y su control son aplicables en cualquier parte del mundo, pero la transferencia de técnicas específicas de conservación de un

Cobertura	ton ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup>	Pendiente
Agriosa	19.9%	60%
Arborea	30.7%	100%
Agriosa	62.0%	100%
Agriosa	37.0%	100%
Agriosa	49.2%	75%
Agriosa	53.1%	100%
Agriosa	78.0%	100%

Cuadro 6. Pérdidas de suelo por erosión hídrica reportadas para el estado de Veracruz. En todos los casos se utilizó la ecuación universal de pérdida de suelo (EUPS) para estimar la tasa de erosión

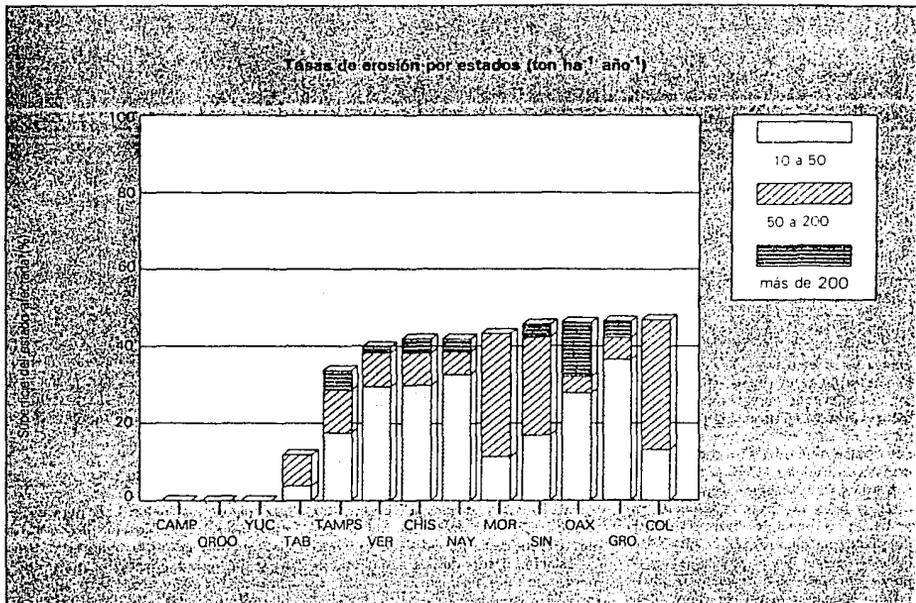


Figura 7.

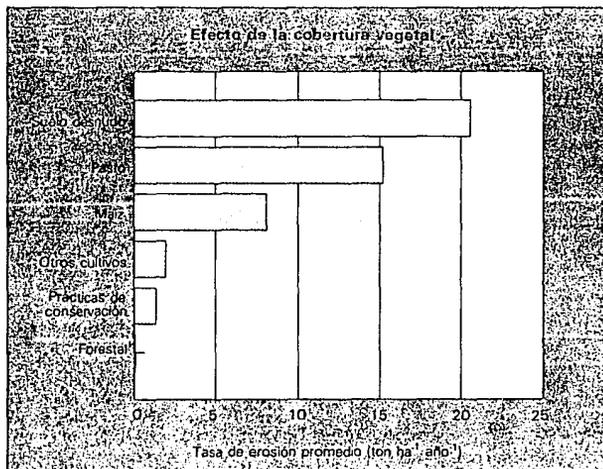


Figura 8.

país a otro, o de una región a otra, debe hacerse con mucho cuidado. Políticas y economías locales, resistencia social al cambio, condiciones climáticas, edáficas, topográficas, biológicas y de manejo pueden ser factores limitantes para dicha transferencia. Además, las necesidades de conservación son diferentes de un lugar a otro. Los estadounidenses, por ejemplo, han desarrollado una vasta experiencia en prácticas de conservación de suelos; sin embargo, poco saben sobre problemas en zonas con pendientes mayores de 20%, pues en Estados Unidos no es permitido cultivar pendientes mayores del 15%.<sup>33</sup>

Como se recomienda en un artículo anterior,<sup>31</sup> "es urgente la necesidad de incrementar y apoyar en gran medida la investigación sobre erosión hídrica en México. No sólo aquella tendiente a conocer el actual estado de deterioro de nuestros suelos, sino también la dirigida a entender su proceso de erosión, y a generar técnicas alternativas para su conservación. Se debe poner mayor atención a las zonas tropicales y con

pendientes pronunciadas, pues son éstas las menos estudiadas y las más susceptibles al proceso erosivo. Asimismo, es indispensable apoyarse en técnicas de evaluación cuantitativa más exactas".

Por último, es necesario subrayar que la conservación de suelos no se debe abordar sólo con un enfoque agrícola o edáfico, sino ecológico, económico y social. El suelo es parte de los recursos naturales "no renovables" de un país, del cual dependen la mayoría de sus recursos renovables. El manejo integral de los recursos naturales es una tarea indispensable si se quiere hacer un uso óptimo y sostenido de los mismos.<sup>46</sup> La utilización de cuencas hidrológicas como unidades de manejo de ecosistemas y agroecosistemas debe fomentarse como una estrategia de conservación de suelos.<sup>47</sup> De no ser así, el deterioro del suelo seguirá avanzando, la riqueza natural de los ecosistemas se irá reduciendo, y con ello toda esperanza futura de desarrollo agropecuario.

### Agradecimientos

Los autores agradecen a la bióloga Marlene de la Cruz por su ayuda en la recopilación de la información aquí referida. El presente trabajo fue posible gracias al apoyo económico que proporcionaron el CONACYT (P218CCOC 882029) y la Organización de Estados Americanos (OEA) a través de su Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico (PRDCyT).

### REFERENCIAS

- Jordan, C. F., *Nutrient Cycling in Tropical Forest Ecosystems*, John Wiley and Sons, 1985, 190 pp.
- Lal, R., "Soil Erosion on Alfisols in Western Nigeria. III. Effects of Rainfall Characteristics", *Geoderma*, vol. 16, 1979, pp. 389-401.
- Wischmeier, W. H. y D. D. Smith, *Predicting Rainfall Erosion Losses a Guide to Conservation Planning*, U.S. Department of Agriculture, Agriculture Handbook, núm. 537, E.E.U.U., 1978.
- Hudson, N. W., "A Research Project on Hydrology and Soil Erosion in Mountain Watersheds in Sri Lanka", en R. Lal y E. W. Russell, *Tropical Agricultural Hydrology*, John Wiley and Sons, 1981, pp. 311-321.
- Lal, R., "Soil Erosion on Alfisols in Western Nigeria. V. The Changes in Physical Properties and the Response of Crops",

*Geoderma*, vol. 16, 1978, pp. 419-431.

6. Enberg, F. R., "Temperate Zone Influence on Tropical Forest Land Use: a Plea for Sanity", en Meggers, B. T., E. S. Ayensu y W. D. Dickworth, *Tropical Forest Ecosystems in Africa and South America: a Comparative Review*, Smithsonian Institution Press, 1973, pp. 345-350.

7. Krebs, J. E., "A Comparison of Soil Under Agriculture and Forest in San Carlos, Costa Rica", en Golley, F. B. y E. Medina, *Tropical Ecological Systems*, Springer-Verlag, 1975, pp. 381-390.

8. Pimm, S. L., "Community Stability and Structure", en Soule M. E., *Conservation Biology: the Science of Scarcity and Diversity*, Sinauer, 1986, pp. 309-329.

9. Farnworth, E. G. y F. B. Golley, *Ecosistemas frágiles*, Fondo de Cultura Económica, México, 1977, 381 pp.

10. Myers, N., "Tropical Deforestation and a Mega-Extinction Spasm", en Soule, M. E., *Conservation Biology: the Science of Scarcity and Diversity*, Sinauer, 1986, pp. 394-409.

11. Gómez-Pompa, A., C. Vázquez-Yanes y S. Guevara, "The Tropical Rain Forest: a Nonrenewable Resource", *Science*, vol. 177, 1972, pp. 762-765.

12. Ng, F. S. P., "Ecological Principles of Tropical Lowland Rain Forest Conservation", en Sutton, S. L., T. C. Whitmore y A. C. Chadwick, *Tropical Rain Forest: Ecology and Management*, Blackwell Scientific Publications, 1982, pp. 359-375.

13. Jordan, C. F. y N. Stark, "Retención de nutrientes en la esfera de raíces de un bosque pluvial amazónico", *Acta Cient. Venezolana*, vol. 29, núm. 4, 1978, pp. 263-267.

14. Greenland, D. J., "Soil Structure and

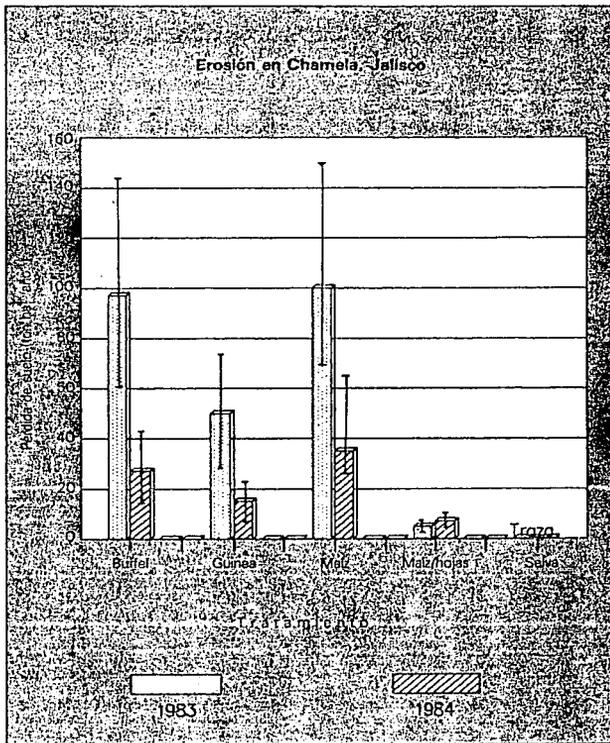


Figura 9.

- Erosion Hazard", en Greenland, D. J. y R. Lal, *Soil Conservation and Management in the Humid Tropics*, John Wiley and Sons, 1979, pp. 17-23.
15. Alu, P. M., "Erosion Hazard and Farming Systems in East Africa", en Greenland, D. J. y R. Lal, *Soil Conservation and Management in the Humid Tropics*, John Wiley and Sons, 1979, pp. 166-176.
16. Posner, J. A., "Cropping Systems and Soil Conservation in the Hill Areas of Tropical America", *Turrialba*, vol. 32, núm. 1, 1982, pp. 287-299.
17. Gumbs, F. A. y J. I. Lindsay, "Runoff and Soil Loss in Trinidad Under Different Crops and Soil Management", *Soil Sci. Am. J.*, vol. 46, 1982, pp. 1264-1266.
18. El-Swaify, S. A. y E. W. Dangler, "Rainfall Erosion in the Tropics: a State-of-the-Art", en Kussow, W., S. A. El-Swaify y J. Manninger, *Soil Erosion and Conservation in the Humid Tropics*, John Wiley and Sons, 1982, pp. 1-25.
19. Jordan, G. F., "Local Effects of Tropical Deforestation", en Soule, M. E., *Conservation Biology: the Science of Scarcity and Diversity*, Sinauer, 1986, pp. 410-426.
20. Russell, E. W., "Foreword", en Greenland, D. J. y R. Lal, *Soil Conservation and Management in the Humid Tropics*, John Wiley and Sons, 1979, pp. 1-2.
21. Okigbo, B. N., "Farming Systems and Soil Erosion in West Africa", en Greenland, D. J. y R. Lal, *Soil Conservation and Management in the Humid Tropics*, John Wiley and Sons, 1979, pp. 152-163.
22. Nye, P. H. y D. J. Greenland, "The Soil Under Shifting Cultivation", *Commonwealth Agricultural Bureau*, núm. 51, 1960, p. 156.
23. Olayide, S. O. y A. O. Falusi, "Economics of Soil Conservation and Erosion Control", en Greenland, D. J. y R. Lal, *Soil Conservation and Management in the Humid Tropics*, John Wiley and Sons, 1979, pp. 117-125.
24. Sheng, T. C., "The Need for Soil Conservation Structures for Steep Cultivated Slopes in the Humid Tropics", en Lal, R. y E. W. Russell, *Tropical Agricultural Hydrology*, John Wiley and Sons, 1981, pp. 357-372.
25. Fauck, R., "Erosion and Mechanization", en Greenland, D. J. y R. Lal, *Soil Conservation and Management in the Humid Tropics*, John Wiley and Sons, 1979, pp. 190-193.
26. Lal, R., "Effective Conservation Farming Systems for the Humid Tropics", en Kussow, W., S. A. El-Swaify y J. Manninger, *Soil Erosion and Conservation in the Humid Tropics*, John Wiley and Sons, 1982, pp. 57-74.
27. Beaumont, P. y K. Atkinson, "Soil Erosion and Conservation in Northern Jordan", *Journal of Soil and Water Conservation*, julio de 1969, pp. 144-147.
28. Andrade, A., *La erosión*, Fondo de Cultura Económica, México, 1975, 63. pp.
29. Toledo, V. M., "La guerra de las reses", en E. Leff (Ed.), *Medio ambiente y desarrollo*, México, 1988, 33 pp. (en prensa).
30. Redowski, J., *Vegetación de México*, Editorial Limusa, México, 1978, 432 pp.
31. Maass, J. M. y F. García-Oliva, "Información sobre erosión de suelos en México: un análisis de la literatura existente", texto enviado a la *Revista Ciencia*, 1989.
32. Lal, R., "Review of Soil Erosion Research in Latin America", en Greenland, D. J. y R. Lal, *Soil Conservation and Management in the Humid Tropics*, John Wiley and Sons, 1979, pp. 232-240.
33. Maass, J. M., "Criminal destrucción de nuestros suelos", columna "Huésped", *Novedades*, México, 1984.
34. Estrada, J. W. y C. A. Ortiz Solorio, "Plano de erosión hídrica del suelo en México", *Geografía agrícola*, vol. 3, México, 1982, pp. 23-27.
35. García Lagos, R., "Diagnóstico sobre el estado actual de la erosión en México", *Terra*, vol. 1, núm. 1, 1983, pp. 11-14.
36. Geisert, D. y S. R. Rossignol, *La morfología en la ordenación de los paisajes rurales. Conceptos y primeras aplicaciones en México*, INIREB, 1987, 85 pp.
37. Vázquez, V., "La conservación del suelo y agua en México", manuscrito DGNASARIH, México, 1986, 54 pp.
38. Martínez-Menez, M. R. y V. J. Fernández, "Jerarquización de acciones de conservación de suelos a partir de cuencas hidrográficas", manuscrito, México, 1983, 12 pp.
39. Maass, J. M., "Logos propuestos para la evaluación de la degradación de los suelos", Roma, Italia, 1979.
40. Maass, J. M., G. F. Jordan y J. Sarukhán, "Soil Erosion and Nutrient Losses in Seasonal Tropical Agroecosystems Under Various Management Techniques", *Jour. Appl. Ecol.*, vol. 25, 1988, pp. 595-607.
41. Raa, T., "Estudio de la erosión en la cuenca alta del río La Antigua, Veracruz, México", *Biótica*, vol. 8, núm. 4, 1983, pp. 361-380.
42. Sanchez-Lu, A., *Land Degradation in Mexican Maize Fields*, tesis doctoral, The University of British Columbia, 1984, 212 pp.
43. Hudson, N. W., "Soil Conservation Research and Training Requirements in Developing Tropical Countries", en Kussow, W., S. A. El-Swaify y J. Manninger, *Soil Erosion and Conservation in the Humid Tropics*, John Wiley and Sons, 1982, pp. 121-133.
44. De Ita, M. C., *Patrones de producción agrícola en un ecosistema tropical etacional en la costa de Jalisco*, Facultad de Ciencias, UNAM, tesis, México, 1983.
45. Foster, G. R., W. C. Moldenhauer y W. H. Wischmeier, "Transferability of U.S. Technology for Prediction and Control of Erosion in the Tropics", en Kussow, W., S. A. El-Swaify y J. Manninger, *Soil Erosion and Conservation in the Humid Tropics*, John Wiley and Sons, 1982, pp. 135-149.
46. Ecurria, E., L. Fanjul, R. García, J. M. Maass, J. Sarukhán, J. Soberón y V. Toledo, *Fundamentos ecológicos del plan rector de ciencia y tecnología aplicada al manejo de recursos naturales*, SEDUE, México, 1989, 76 pp. (en prensa).
47. Sarukhán, J. y J. M. Maass M., "Bases ecológicas para un nuevo sostenido de los ecosistemas", en Leff, *Medio ambiente y desarrollo en México*, S. XXI, 1988, (en prensa).
48. Patrick, J. H., J. O. Evans y J. D. Helvey, "Summary of Sediment Yield Data from Forested Land in the United States", *Journal of Forestry*, febrero, 1984, pp. 101-104.
49. Larson, W. E., F. J. Pierce y R. H. Dowdy, "The Threat of Soil Erosion to Long Term Crop Production", *Science*, vol. 219, 1983, pp. 458-465.
50. Figueroa, S. B., *Pérdidas de suelo y nutrientes y su relación con el uso del suelo en la cuenca del río Texaco*, tesis de maestría, ENA, Colegio de Postgraduados, 1975, 209 pp.
51. Morigan, R. P. C., "Soil Erosion Measurement and Soil Conservation Research in Cultivated Areas of the UK", *The Geographical Journal*, vol. 151, núm. 1, 1985, pp. 11-20.
52. Van Lear, D. H., J. E. Douglass, S. K. Cox y M. K. Augspurger, "Sedimentation Nutrient Export in Runoff from Burned Carolina Piedmont", *J. Environ. Qual.*, vol. 14, núm. 2, 1985, pp. 169-174.
53. Sánchez, P. A., *Properties and Management of Soils in the Tropics*, John Wiley and Sons, 1976, 607 pp.
54. Morgan, R. P. C., *Soil Erosion*, Topics in Applied Geography, 1979, 109 pp.
55. Lundren, L., "Comparison of Surface Runoff and Soil Loss from Runoffplots in Forest and Small-Scale Agriculture", *Geografiska Annaler*, vol. 62A (3-4), 1980, pp. 113-148.
56. Temple, P. H., "Measurements of Runoff and Soil Erosion at an Erosion Plot Scale with Particular Reference to Tanzania", *Geografiska Annaler*, vol. 54A (3-4), 1972.
57. Babalola, O. y H. R. Cheda, "Influence of Crops and Cultural Practice on Soil and Water Loss from a Western Nigerian Clay Soil", *J. Soil. Water Res.*, vol. 15, núm. 1, 1975, pp. 93-99.
58. VanRensburg, H. J., "Run-Off and Soil Erosion Tests, Mpwapwa, Central Tanganyika", *The East African Agricultural Journal*, vol. 20, pp. 228-231.
59. McDowell, L. L. y K. C. McGregor, "Plant Nutrient Losses in Runoff from Conservation Tillage Corn", *Soil and Tillage Research*, vol. 4, 1984, pp. 79-91.
60. Foster, G. R., R. K. McCool, K. G. Renard y W. C. Moldenhauer, "Conversion of the Universal Soil Loss Equation to SI Metric Units", *Journal of Soil and Water Conservation*, noviembre, 1981, pp. 353-359.
61. Sheng, T. C., "Erosion Problems Associated with Cultivation in Humid Tropical Hilly Regions", en Kussow, W., S. A. El-Swaify y J. Manninger, *Soil Erosion and Conservation in the Humid Tropics*, John Wiley and Sons, 1982, pp. 27-35.
62. Lal, R., "The Soil and Water Conservation Problem in Africa: Ecological Differences and Management Problems", en Greenland, D. J. y R. Lal, *Soil Conservation and Management in the Humid Tropics*, John Wiley and Sons, 1982, pp. 143-149.
63. Espinoza, J. M., *Metodología para cartografiar la erosión potencial*, Facultad de Filosofía y Letras, UNAM, tesis, 1984.
64. Torres, J. E., *Ecología y uso de los recursos naturales remanentes de la cuenca del río San Marcos, Tamauquips, México*, Facultad de Ciencias, UNAM, tesis, 1987. ©

## CAPITULO II

**LA INVESTIGACION SOBRE LA EROSION DE SUELOS EN MEXICO. UN  
ANALISIS DE LA LITERATURA EXISTENTE**

Ciencia 41: 209-228.

# La investigación sobre la erosión de suelos en México

## Un análisis de la literatura existente

José Manuel Maass Moreno  
y  
Felipe García-Oliva

### RESUMEN

La erosión del suelo es una causa importante de degradación del medio ambiente y uno de los factores limitantes más serios que enfrenta la agricultura de hoy en día. Especialistas internacionales han considerado a México entre los países latinoamericanos con problemas de erosión hídrica más severos. De acuerdo con varios autores más del 75% de la superficie del país muestra evidencias de erosión edáfica acelerada. No obstante lo anterior, la información sobre erosión hídrica en México es muy escasa, revelando la limitada atención que se le ha dado al problema. El presente trabajo hace un análisis de la literatura existente sobre este tema con el objeto de evaluar el estado de desarrollo, tendencias y características de la investigación sobre esta línea en México.

Recibido el 10 de julio de 1989  
Aceptado el 15 de diciembre de 1989

José Manuel Maass Moreno es egresado de la Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa donde obtuvo el título de biólogo con especialidad en ecología. Obtuvo su PhD en el Instituto de Ecología de la Universidad de Georgia, en EUA. Es profesor e investigador del Centro de Ecología de la UNAM (A Postal 70-275, Cd Universitaria, México, DF 04510), y miembro del Sistema Nacional de Investigadores. Imparte la materia de ecosistemas en el programa de doctorado en ecología de la UACyP (CCH, UNAM), y en el programa de posgrado de la Facultad de Ciencias, UNAM. Actualmente coordina un proyecto de investigación orientado a entender la estructura y el funcionamiento de ecosistemas tropicales.

Felipe García-Oliva es egresado de la Universidad Nacional Autónoma de México en donde obtuvo la licenciatura en geografía. Actualmente es estudiante en el programa de doctorado en ecología de la UACyP (CCH) con sede en el Centro de Ecología de la UNAM (A Postal 70-275, Cd Universitaria, México, DF 04510) imparte la materia de conservación de recursos naturales en el Colegio de Geografía de la UNAM. Su proyecto de tesis doctoral analiza procesos de erosión de suelos en ecosistemas tropicales.

### INTRODUCCIÓN

Cada vez son más serios y patentes los problemas de erosión hídrica en México. Año con año se abren nuevas tierras al cultivo, transformando grandes extensiones de bosques y selvas vírgenes en monocultivos de maíz y pasto (Toledo y col, 1987; De-Ita, 1985). Es fácil observar que los ríos se cargan de sedimentos, que las presas se azolvan, los pozos se secan, las cárcavas aumentan y la productividad de la tierra disminuye. Especialistas internacionales sobre el tema concuerdan en aseverar que México es, sin duda, uno de los países latinoamericanos con los problemas más serios de erosión hídrica (Lal, 1977). Sin embargo, la pobre literatura al respecto refleja la poca importancia que se le ha dado al problema en México. Las personas interesadas en conocer el estado actual de la degradación hídrica de los suelos en nuestro país se enfrentan al problema de una literatura no sólo escasa, sino dispersa, de difícil acceso y en ocasiones, confusa y contradictoria (Maass y García Oliva, 1990). Esta situación no sólo hace más difícil la investigación científica sobre el problema, también impide que los diferentes sectores de la sociedad tengan conciencia del grave deterioro de nuestros suelos.

Como menciona Büttenklepper (1984), el análisis de la bibliografía existente sobre cualquier área del conocimiento humano, permite obtener información sobre el estado de desa-

rollo, tendencias y características de dicha área. Esta información es indispensable para cualquier toma de decisiones sobre política científica. Con esto en mente, el presente trabajo es el resultado de un gran esfuerzo por compilar la poca información existente sobre erosión hídrica en México. Se hizo un análisis detallado sobre los datos recabados, para dar respuesta a preguntas tales como qué tanta información existe, qué tan confiable es, quiénes y qué instituciones han trabajado sobre este tema, qué tendencias ha seguido la investigación en esta línea, qué regiones y sistemas agrícolas del país han sido más estudiados, qué tan serios son los problemas, etc.

Para este propósito se buscaron artículos especializados en revistas nacionales relacionadas con el tema, se revisaron los programas de los principales congresos en México afines al área, se buscaron tesis sobre la materia en bibliotecas de las principales universidades del país, y finalmente se hicieron visitas a oficinas e instituciones del Gobierno en busca de informes técnicos, publicaciones especiales y trabajos inéditos. Al final se incluye un listado completo de las fuentes encontradas con el fin de hacerlas disponibles más fácilmente.

La información recabada se almacenó en una base de datos (hoja electrónica) en la que se registró la siguiente información: tipo de cita, autores, año, título, institución participante, escala empleada, estado de la República, tema del trabajo, metodología, clima y tipo de vegetación dominante, tipo de cobertura, pendiente, tasa de erosión. La tabla I ofrece con mayor detalle la organización de la información en la base de datos.

## I. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se recabaron 178 citas de trabajos sobre erosión hídrica en México (ver listado al final del artículo). Esta cifra resulta extremadamente pequeña si tomamos en cuenta que se recopiló información aparecida desde 1940 hasta 1988, que se registró todo tipo de información existente (incluyendo resúmenes en congresos e informes inéditos), que tal información proviene de cerca de 200 autores diferentes y que éstos pertenecen a más de 30 instituciones interesadas en el problema (véanse las tablas II, III y IV). Seguramente existe información que no se pudo recabar durante el presente estudio, creemos sin embargo, que las tendencias que encontramos como producto del análisis de la información

que hasta ahora tenemos, no cambiarían sustancialmente si se tuviera toda la información existente. Los autores estaremos muy agradecidos en recibir información no captada durante el desarrollo del presente trabajo ya que es deseable mantener la base de datos lo más real, completa y actualizada posible.

### A. Tipo de citas encontradas

En el medio académico existe la idea de que "un trabajo no publicado es un trabajo no realizado", y si se tomara esto al pie de la letra, se podría decir que el número de trabajos sobre erosión hídrica en México no llega a treinta.

Como se puede apreciar en la tabla II, el 69% del número total de citas se encontraron en forma de trabajos de tesis y de resúmenes en congresos. Es sorprendente que menos del 15% de las citas encontradas representan trabajos publicados formalmente (revistas, libros o atlas), y si agregamos aquellas que han sido aceptadas para su publicación, el porcentaje no llega al 20%. Desafortunadamente los resúmenes de los congresos no se encuentran en las bibliotecas, las tesis sólo se encuentran (generalmente un solo ejemplar) en las bibliotecas de las instituciones en donde se realizaron, y los informes y documentos internos, aun cuando se conozca su existencia, rara vez son accesibles al público. De hecho, un buen porcentaje de informes y documentos internos ha llegado a nuestro conocimiento porque se ha hecho referencia a ellos en otros trabajos. Esto es, más del 80% de la bibliografía está constituida por trabajos e información de muy difícil acceso. Un factor que dificulta el acceso a los pocos trabajos formalmente publicados, es que éstos no provienen de una misma fuente. Como se puede apreciar en la tabla V, casi el 70% de los trabajos proviene de revistas diferentes (uno por revista o editorial). Esto es, de 29 trabajos publicados, 21 corresponden a revistas o editoriales diferentes.

Una de las principales razones por las que el material no se publica es que frecuentemente éste no posee la calidad que se requiere para ser publicado. Por otra parte, también se ha observado que en el medio gubernamental y en muchas escuelas agrícolas, no existe interés por publicar formalmente

Tabla I

*Detalle de la información contenida en la base de datos sobre erosión hídrica en México*

- a) *Tipo de cita, la cual se clasificó dentro de las siguientes categorías*  
 Resúmenes en memorias de congresos (C),  
 Trabajos publicados en revistas periódicas (R),  
 Libros publicados (L),  
 Atlas publicados (A),  
 Tesis (T),  
 Informes internos de las instituciones (I),  
 Documentos no publicados formalmente (D), y  
 Material aceptado para su publicación (P).
- b) *Autores.*
- c) *Año de la publicación del trabajo, o año del manuscrito, en caso de no haber sido publicado.*
- d) *Título del trabajo.*
- e) *Institución a la que pertenecen los autores o institución que patrocinó el trabajo (universidades, centros de investigación, departamentos gubernamentales, etc).*
- f) *Escala a la que se realizó el trabajo, clasificándola dentro de las siguientes categorías:*  
 País: estudios en el nivel nacional.  
 Región: estudios que consideran a más de un estado.  
 Estado: estudios que se limitan a un solo estado.  
 Municipio: estudios que abarcan un municipio.  
 Cuenca: cuando la unidad de estudio se define con base en una cuenca hidrológica.  
 Ladera: cuando la unidad de estudio sólo representa una fracción de una cuenca hidrológica.  
 Cárcava: cuando la unidad de estudio es una cárcava.  
 Parcela: cuando se trata de parcelas experimentales (generalmente con dimensión menor a 200 m<sup>2</sup>).
- g) *Estado o estados de la República donde se llevó a cabo el trabajo.*
- h) *Tema del trabajo, clasificándolo dentro de las siguientes categorías:*  
 Análisis (Anls): cuando se hace un análisis de la problemática de erosión en una región.  
 Azolve (Azol): cuando se evalúan las tasas de azolve de lagos o presas.  
 Cárcavas (Carc): cuando el tipo de erosión que se estudia es en forma de cárcavas.  
 Cartografía (Cart): cuando el estudio consiste en la representación cartográfica de la erosión.  
 Cobertura (Cobe): cuando se evalúa el efecto de la cobertura del suelo en el proceso erosivo.  
 Eólica (Eolí): cuando el estudio trata cualquier aspecto de la erosión eólica.  
 Erodibilidad (Erod): cuando se analiza la erodibilidad del suelo.  
 Escorrentía (Esco): cuando se evalúan aspectos de escorrentía superficial causados por la erosión.  
 Evaluación Global (EGlo): cuando se determina la tasa de erosión o el porcentaje de superficies erosionadas en el nivel nacional.  
 Evaluación Local (ELoc): cuando se determina la tasa de erosión o el porcentaje de superficies erosionadas en los niveles regional, estatal o cuenca.  
 Evaluación Puntual (EPun): cuando se determina la tasa de erosión o el porcentaje de superficies erosionadas en los niveles ladera o parcela.  
 Experimental (Expe): cuando el estudio posee un diseño experimental bien definido.  
 Implementación (Impl): cuando se considera la aplicación de técnicas de conservación de suelos.  
 Lluvia (LLuv): cuando se analiza la erosividad de la lluvia.  
 Metodológico (Metd): cuando se realizan un análisis de método(s) de cuantificación o determinación de superficies erosionadas.  
 Nutrientes (Nutr): cuando se hace una evaluación de la pérdida de nutrientes por efectos de la erosión.  
 Riesgo (Rsgo): cuando se analiza el riesgo de erosión dadas las condiciones medioambientales o de manejo en un área dada.  
 Social (Soci): cuando se analiza el aspecto social o económico de los problemas de erosión.  
 Teórico (Teor): cuando se analizan o discuten aspectos teóricos de los procesos erosivos.

Tabla I

## Continuación

- i) *Metodología empleada en la estimación del proceso erosivo, clasificándola dentro de las siguientes categorías:*  
 Cartográfico: cuando se realiza una sobreposición de cartas temáticas para determinar superficies susceptibles a ser erosionadas.  
 Colector: cuando una fracción o todo el suelo arrastrado es coleccionado para su cuantificación y análisis.  
 Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (EUPS): cuando se utiliza esta ecuación para estimar la tasa de pérdida de suelo por erosión.  
 FAO: cuando se aplica el método propuesto por la FAO para determinar superficies potencialmente erosionables.  
 Foto interpretación: cuando se utilizan fotografías aéreas en la determinación de superficies erosionadas.  
 Imagen de satélite: cuando se utilizan imágenes de satélite en la determinación de superficies erosionadas.  
 Modelos matemáticos: cuando se utilizan modelos estadísticos para estimar la tasa de erosión (no incluye a la EUPS).  
 Sedimentos en suspensión: cuando sólo se colecta una muestra del agua de escorrentía para analizar la carga de sedimento.  
 Topográfico: cuando se utilizan levantamientos topográficos para determinar volúmenes de suelo perdidos.  
 Varillas: cuando se utilizan varillas enterradas para determinar la tasa de erosión.
- j) *Clima y tipo de vegetación dominante en donde se realizó el trabajo, clasificándolo de acuerdo con los siguientes criterios (Rzedowski, 1978).*  
 Zonas áridas, con matorral xerófilo y pastizales.  
 Zonas templadas, con bosques de coníferas, de Quercus, y mesófilo de montaña.  
 Zona tropical húmeda, con bosque tropical perenifolio, y bosque tropical subcaducifolio.  
 Zona tropical seca (subhúmeda), con bosque tropical caducifolio y bosque espinoso.
- k) *Datos cuantitativos existentes, registrando lo siguiente:*  
 Tipo de cobertura.  
 Pendiente.  
 Tasa de erosión (en unidades de Ton ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>).

Tabla II

## Bibliografía sobre erosión hídrica en México

Tipo de cita	Número de citas	%
Tesis	62	34.8
Congresos	61	34.3
Documentos internos	23	12.9
Revistas	16	9.0
Publicaciones en prensa	7	3.9
Libros	4	2.2
Informes	2	1.1
Atlas	2	1.1
Total de citas	178	100.0

el material. El trabajo se da por concluido cuando se entrega un informe técnico o un manuscrito de tesis. Rara vez existe la

consigna de que un trabajo termina cuando éste se publica formalmente (en una revista científica, en forma de libro, como una publicación institucional, etcétera).

Muchos autores se conforman con que aparezca su resumen en las memorias de un congreso. En estos casos la información presentada es muy escueta y en nuestra experiencia muy pocas personas guardan las memorias de los congresos. Las bibliotecas no lo hacen. Por ejemplo, ni siquiera la Sociedad Mexicana de Ciencia del Suelo tiene en su acervo bibliográfico una colección completa de las memorias de sus congresos.

Se podría pensar que debido a que el proceso editorial es muy lento, muchas citas de congresos y tesis recientes están en proceso de ser publicadas; sin embargo, de 37 citas que aparecieron como resúmenes en congresos de 1985 a 1988, sólo 2 (el 5%) se han publicado formalmente.

Tabla III

Lista de autores y tipo de cita en la que aparecen

	Número de citas							
	C	T	R	D	P	L	I	A
SARH-DGCSA	14	—	—	—	14	—	—	—
Martínez Menez, M	12	7	1	—	2	1	1	—
Anaya Garduño, M	8	2	—	2	1	1	2	—
Estrada Berg W, J	7	5	—	1	—	—	—	1
Figueroa Sandoval, B	7	3	2	1	—	—	1	—
Ríos Berber, JD	7	4	2	—	—	1	—	—
Bocco, G	6	1	1	—	—	4	—	—
Maass M, JM	5	2	1	1	—	1	—	—
Tovar Salinas, JL	5	3	1	—	—	1	—	—
Arias Rojo, HM	4	3	1	—	—	—	—	—
Fernández V, J	4	1	—	—	3	—	—	—
Ortiz Solorio, CA	4	1	1	1	—	1	—	—
Trueba Carranza, A	4	1	1	1	—	—	1	—
Almaguer Sierra, P	3	2	—	—	—	—	1	—
Benítez Omaña, A	3	2	—	—	1	—	—	—
García Zermeño, R	3	1	—	2	—	—	—	—
González D, J	3	1	2	—	—	—	—	—
González R, G	3	1	2	—	—	—	—	—
Sandoval Villa, M	3	2	1	—	—	—	—	—
Autores que aparecen: dos veces (26)	52	29	10	9	1	2	1	—
una vez (143)	143	61	42	16	6	3	2	5

Legenda: C = Congreso, T = Tesis, D = Documento interno, R = Revista periódica, P = Material en prensa, L = Libro, I = Informes, A = Atlas.

### B. Tendencia en el tiempo

La figura 1 muestra el número de citas que han aparecido por año. Es alentador notar que a partir de mediados de los setenta, el interés por los estudios de erosión hídrica se ha incrementado exponencialmente. Sin embargo, el número de publicaciones formales aún no ha adquirido esta tendencia. Esperamos que esto se deba a un retraso causado

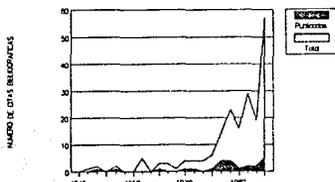


Figura 1. Número de citas por año encontradas.

por el proceso editorial, y que en los próximos años dicha curva se comporte también en forma exponencial.

### C. Autores involucrados

En las tablas III y IV se listan los principales autores de los trabajos sobre erosión hídrica en México. Un total de 188 autores diferentes componen el grupo de citas encontradas. Es interesante notar que sólo seis autores aparecen más de cinco veces en la lista de citas, y que una docena aparecen más de dos veces, mientras que 143 autores (más del 75%) aparecen una sola vez. Esto nos indica que existen muy pocos investigadores permanentemente activos y con experiencia en este campo. El resto son investigadores nuevos o con un interés pasajero en el tema.

También es importante notar que en una gran cantidad de documentos de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hídricos (SARH) no se da crédito a sus autores. Esta

Tabla IV

*Lista de los autores por institución\**

- 
- Centro Científico IBM (CC IBM)  
Benítez Omaña, A; Bustamante, A; Fontanot, R; García Zermeño, R; González D, J; González R, G; Guzmán Nava R; Oliva, GR; Oliva R; Sánchez, R; Trueba Carranza, A; Vital Pineda, R.
- Centro de Estudios Forestales y Agrícolas del Edo de Jalisco (CEFAPC-JAL)  
Covarrubias García, S.
- Centro de Investigación Forestal y Agrícola del Edo de México (CIFAEM)  
Garzón Ceballos, C; Velázquez Madrigal, C.
- Centro de Investigación Forestal y Agrícola (CIFAP-Ags)  
Martínez Meza, E; Osuna Ceja, ES; Padilla Ramírez, S.
- Colegio Superior de Agricultura del Estado de Guerrero (CSAEG)  
Ayvar S, S.
- Colegio de Posgraduados (CP)  
Alcalde Blanco, S; Álvarez, O; Anaya Garduño, M; Arias Rojo, HM; Ávila Hernández, M; Barrón V, A; Bastida, SMA; Beltrán Blanco, A; Cabrera Carbajal, F; Chapa, JR; Charcas Salazar, H; Charles Leo, J; Cisneros Domínguez; Corona, VA; Cuevas, R; Estrada Berg W, J; Figueroa Sandoval, B; González Ríos, JM; León Arteta, R; Martínez Menez, M; Montenegro González, H; Moreno Martínez, J; Nava Rodríguez, JA; Oleschko, K; Oropeza Mota, JL; Ortiz Solorio, CA; Ortiz, CSA; Osuna Ceja, ES; Palma López, DJ; Perales Rivera, S; Ramírez Romero, J; Ramos Santos, JJ; Rey, CJA; Ríos Berber, JD; Rodríguez Chávez, N; Rodríguez Guzmán, B; Ruiz Figueroa, J; Sánchez Leal, JR; Solano de la Sala, J; Téllez Lozada, JA; Terrazas, GJL; Tovar Salinas, JL; Tovar Soto, HM; Trueba Carranza, A; Trueba, S; Trujillo García, A; Turrent Fernández, A; Vich, AIJ; Villegas García, J; Zazueta Zazueta, G.
- Escuela Superior de Agricultura Hermanos Escobar (ESAHE)  
Escobedo Portales, S; Estrada Luna, A; Ortega Salazar, J; Román Flores B; Tejada Guerrero, J; Torres Flores, CA.
- FAO  
Baldwin, M.
- Instituto de Estudio Políticos, Económicos y Sociales (IEPES)  
Blanco, MG; Fernández V, J; Salgado, PE.
- Instituciones en el extranjero  
Inst Bodenkunde, República Federal Alemana: Shonhals, E.  
International Technic Center (ITC), Holanda: Bocco, G; Valenzuela, CR:  
Texas University, Estados Unidos: Brown, KW; Rubio Montoya, D.  
University of British Columbia, Canadá: Sancholuz, LA.  
University of Georgia, Estados Unidos: Jordan, CF; Maass M, JM  
U Giessen, República Federal Alemana: Wegener, HR.  
University of Michigan, Estados Unidos: Rodríguez, BD.  
Otras: Figueroa Sandoval, B; Martínez Menez, M; Rubio Montoya, D.
- Instituto Nacional de Investigaciones sobre Recursos Bióticos (INIREB)  
Campos Cascaredo, A; Geissert, D; Raa, T.
- Instituto de Ecología (IE)  
Ruiz Valdez, J; Viramontes Perejida, D.
- IPN-Escuela Nacional de Ciencias Biológicas (IPN-ENCB)  
Cruz Cisneros, R.
- PEMEX  
Elias Murguía, L; Ladrón G, F; Morán González, JM.

Tabla IV

**Continuación****SARH**

- Aguilar Lojero, R; Anaya Garduño, M; Arias Rojo, HM; Benítez Omaña, A; Blanco, MG; Cadena Zapata, M; Cardoso Marín, R; Cervantes, RL; Chavira, R; Cornish Gerald, A; Coutiño, R; Fernández M, O; Fernández V, J; Figueroa Sandoval, B; García Lagos, R; González, GJ; Guadiano, AJ; López Martínez, J; Martínez Menez, M; Martínez Rivera, LM; Núñez, E; Olivares R, F; Osuna González, J; Reyes Guerrero, D; Roldán Parrodi A; Sánchez Esparza, D; Sánchez Juárez, M; Sánchez, R; Santos Landia, E; Serna Pérez, A; Silva Serna, MM; Tinoco Alfaro, CA; Tovar Salinas, JL; Trueba Carranza, A; Uresti Gil, J; Uribe, G; Vázquez A, V; Velázquez Valle, MA; Vital Pineda, R.
- Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN)  
Lasso Mendoza, LM; Martínez Rivera, LM.
- Universidad Autónoma de Chapingo (UACH)  
Aguilar Sánchez, G; Anaya Garduño, M; Estrada Berg W, J; Jacinto Arias, JL; López Yáñez, H; Martínez, C, MD; Martínez Menez, M; Martínez Peña, GP; Orozco Magren, G; Pimentel López, J; Ríos Berber, JD; Rodríguez Olvera, JM; Ronquillo Bustillos, JA; Sánchez Arellano; Sandoval Villa, M; Sierra Cortés, E; Terrazas González, GH; Tovar Soto, HM; Trujillo, HS; Valencia Barajas, JM; Ventura Ramos, E.
- Universidad Autónoma de Ciudad Juárez (UACJ)  
Ochoa Cunningham, F.
- Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco (UAM-X)  
Abuxapqui Salcedo, P; Fraire Velázquez, S.
- Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL)  
Sánchez Fernández, S.
- Universidad Autónoma de Tamaulipas (UAT)  
Almáguer Sierra, P; Cardona Estrada, A; Castro Meza, BI; Chapa Martínez, MA; Cuanalo de la C, H; Hinojosa M, JL; Juárez R, FH; Plácido de la C, JM; Torres Garza, JL.
- Universidad de Guadalajara (UG)  
Amante Orozco, A; Bernal González, JL; Días Maldonado, E; García García, LE; Gómez Martínez, JF; Huerta Palacios, JM; Saavedra Palomares, JA; Zamora Monzalva, NC.
- UNAM, Centro de Ciencias de la Atmósfera  
Jáuregui, S.
- UNAM, Centro de Ecología  
García-Oliva, F; Maass M, JM; Sarukhán, J.
- UNAM, Colegio de Geografía  
Adame Martínez, S; Breña Z, E; Espinoza R, JM; Rubalcava N, P; Torre Ruata, CJ.
- UNAM, Instituto de Geografía  
Bocco, G; Cervantes Borja, J.

---

\* Tanto las instituciones como los autores están ordenados alfabéticamente.

política, muy generalizada en la mayoría de las secretarías de estado, no permite conocer quién ha estado trabajando activamente en problemas de erosión hídrica en el sector público.

El que un autor aparezca listado en una de las instituciones (tabla IV) no necesari-

amente indica que haya trabajado o que aún trabaje en dicha institución, sino que al menos en algún momento colaboró con ella. La información contenida en dicha tabla es de gran utilidad para establecer contacto con personas interesadas en el tema.

**Tabla V**  
**Revistas y editoriales que han publicado trabajos sobre erosión hídrica en México**

<i>Revista o editorial</i>	<i>Número de citas</i>	<i>%</i>
Agrociencia (CP)	4	13.8
Boletín del Instituto de Geografía (UNAM)	4	13.8
Centro Científico IBM	2	6.9
Terra (SMCS)	2	6.9
Biótica (INIREB)	1	3.4
Colegio de Posgraduados	1	3.4
Comunicaciones (Plan Puc-Tlax)	1	3.4
Fondo de Cultura Económica	1	3.4
Geografía Agrícola (UACH)	1	3.4
Gesellsch (RFA)	1	3.4
Ibero-Americana (EUA)	1	3.4
IBM J Resource Dvelopment (EUA)	1	3.4
INEGI (SPP)	1	3.4
Ing Hidráulica en México (SARH)	1	3.4
ITC Journal (Holanda)	1	3.4
J Soil & Water Conservation (SCSA, EUA)	1	3.4
Journal of Applied Ecology (Inglaterra)	1	3.4
U of Texas Press (EUA)	1	3.4
U of California Press (EUA)	1	3.4
Universidad Autónoma de Chapingo	1	3.4
UNAM-Siglo XXI	1	3.4

#### D. Instituciones participantes

Es sorprendente, y hasta cierto punto alentador, la gran cantidad y la diversidad de instituciones que han participado en trabajos sobre erosión en México (ver tablas IV y VI). Con más de 30 instituciones abordando el problema, uno pensaría que México está en la vanguardia de la conservación de suelos y de la investigación sobre procesos erosivos. Desafortunadamente esto no es así, pues ninguna de estas instituciones tiene como uno de sus principales focos de atención a los estudios de erosión y conservación de suelos. Esto se refleja muy claramente en la literatura, pues en promedio existen 5.4 citas sobre el tema por institución (número de citas encontradas entre el número de instituciones), y si tomamos sólo en cuenta las publicaciones formales, el promedio baja a 0.88 publicaciones por institución.

Como se puede apreciar en la tabla VI, el 60% de las citas proviene del Colegio de Posgraduados (CP), de la SARH y de la Universidad Autónoma de Chapingo (UACH). Esto no es de extrañarse si recordamos que

la SARH es la dependencia gubernamental encargada del uso y conservación de los suelos en México, y la UACH y el Colegio de Posgraduados son las instituciones agropecuarias y forestales más importantes del país. De hecho estas tres instituciones están íntimamente relacionadas, pues muchos de los miembros del CP son egresados de la UACH, y gran parte de los funcionarios de la SARH provienen del CP y de la UACH.

Pese a que el CP y la SARH son las instituciones que más se han abocado al problema, la erosión del suelo no constituye su principal tema de interés. En la revista *Agrociencia*, que es la publicación más importante del CP, y es considerada como la principal fuente de información sobre trabajos científicos en el área agrícola en nuestro país, menos del 2% de los artículos publicados tratan directamente aspectos de erosión hídrica.

#### E. Tesis sobre erosión hídrica

La tabla VII muestra el número de tesis realizadas en México sobre aspectos de erosión

**Tabla VI**  
*Instituciones que han trabajado sobre erosión hídrica en México\**

<i>Institución</i>	<i>Número de citas</i>	<i>%</i>
CP	43	24.7
SARH	42	24.1
UACH	21	12.1
Extranjeras	14	8.0
UNAM	13	7.5
UG	8	4.6
ESAHE	6	3.4
CC IBM	4	2.3
UAT	3	1.7
UAAAN	2	1.1
INIREB	2	1.1
CIFAEM	2	1.1
UAM-X	2	1.1
CSAEG	1	0.6
UACJ	1	0.6
PEMEX	1	0.6
UANL	1	0.6
CIFAP-Ags	1	0.6
FAO	1	0.6
ITC	1	0.6
Inst Ecología	1	0.6
INEGI	1	0.6
IEPES	1	0.6
CEFAPCJAL	1	0.6
IPN-ENCB	1	0.6

\* El significado de las siglas de las instituciones se puede ver en la tabla IV.

hídrica. De nuevo, las instituciones que más han participado en la formación de especialis-

tas sobre el tema son la UACH en el nivel de licenciatura y el CP en el nivel de maestría. Es importante notar que sólo universidades extranjeras han otorgado el grado de doctor, y que el número de tesis doctorales representa el 8%. Esto habla de la escasez de especialistas en esta materia en universidades nacionales. Afortunadamente la mayoría de estas tesis doctorales son recientes y han sido realizadas por estudiantes mexicanos en el extranjero, los cuales representan un fuerte potencial para el fortalecimiento de la investigación sobre erosión hídrica en México.

#### F. Fuentes de información existentes

El foro más utilizado por las personas que trabajan en el tema para presentar los avances de su investigación es, con mucho (92%), los congresos organizados por la Sociedad Mexicana de Ciencia del Suelo (véase la tabla VIII). Esta circunstancia es ventajosa porque hace posible la interacción de investigadores en un mismo sitio y lugar. Esta convergencia no se da con respecto a las revistas o editoriales que se utilizan para publicar sus resultados. Como se puede apreciar en la tabla V, no existe una revista preferida para publicar trabajos sobre erosión hídrica. La más importante es *Agrociencia*, que apenas contiene un 13% de los trabajos sobre el tema. Esto es desafortunado pues la persona interesada en documentarse al respecto se ve precisada a examinar una gran variedad de revistas, muchas de ellas ausentes en la mayoría de las bibliotecas del país (un 38% de ellas son de origen extranjero).

**Tabla VII**  
*Tesis realizadas en México sobre diferentes aspectos de la erosión hídrica.*

<i>Institución</i>	<i>Total</i>	<i>Lic</i>	<i>MC</i>	<i>Doc</i>
Colegio de Posgraduados	19	—	19	—
Universidad Autónoma de Chapingo	15	15	—	—
Universidad de Guadalajara	8	8	—	—
Universidades extranjeras	7	—	2	5
Esc Sup de Agr Hermanos Escobar	6	6	—	—
UNAM (Geografía)	3	3	—	—
U A M-Xochimilco (Tetasinas)	2	2	—	—
C Sup de Agr del Edo de Guerrero	1	1	—	—
Universidad Autónoma de Nuevo León	1	1	—	—
<b>Total</b>	<b>62</b>	<b>36</b>	<b>21</b>	<b>5</b>

Tabla VIII

*Trabajos presentados en congresos afines al tema*

Congreso	Número de citas	%
Congreso de la Sociedad Mexicana de Ciencia del Suelo	58	92
Congresos internacionales	4	6
Congreso Mexicano de Botánica	1	2
Congreso de Geografía	0	0
Congreso Nacional de Geología	0	0
<b>Total</b>	<b>63</b>	<b>100</b>

Tabla IX

*Métodos utilizados en los estudios de erosión hídrica en México*

Método	Número de citas	%
Colector	36	29.7
Imagen de satélite	23	19.0
Foto interpretación	14	11.6
Sedimentos en suspensión	10	8.3
Modelo matemático	9	7.4
EUPS	7	5.8
FAO	7	5.8
Cartográfico	6	4.9
Topográfico	3	2.5
Varillas	2	1.7
Cárcavas	2	1.7
Laboratorio	2	1.7

## G. Escalas y métodos utilizados

En la tabla IX se listan los métodos utilizados en el estudio de la erosión hídrica en México. Como se puede apreciar, el uso de parcelas experimentales es muy común, siguiendo los métodos de percepción remota, como la fotografía aérea y las imágenes ob-

Tabla X

*Escalas en las que se han realizado trabajos de erosión hídrica en México*

Escala	Número de citas	%
Parcela	42	28.0
Estado	36	24.0
País	24	16.0
Cuenca	19	12.6
Municipio	16	10.6
Región	6	4.0
Cárcava	5	3.3
Ladera	2	1.3

tenidas por satélites. Las escalas utilizadas son muy variadas (ver tabla X), y como es de esperarse, el tipo de método utilizado está relacionado con la escala a la que se trabaja (ver tabla XI). Así, tenemos que para evaluar la erosión a pequeña escala (parcela o ladera) es frecuente el uso de colectores de sedimentos arrastrados, mientras que en los niveles estatal, regional o nacional se utilizan métodos de percepción remota.

Se han realizado varios esfuerzos para obtener un inventario a gran escala de tierras erosionadas. En México el 53% de los trabajos se han realizado a escalas de estado, región o país, y han utilizado métodos con muy poca resolución cuantitativa (percepción remota), o técnicas cuyos supuestos no se cumplen en las condiciones en que son usadas (como el uso de la ecuación universal de pérdida de suelo en escalas mayores que la de parcelas, en zonas montañosas o en zonas tropicales). Lo anterior ha traído como resultado información confusa y contradictoria. Las evaluaciones que han utilizado métodos más exactos y confiables son poco representativas de la problemática nacional. Por ejemplo el método de colectores de escorrentía en pequeñas parcelas experimentales, a pesar de que se ha utilizado en el 30% de los trabajos, se concentra en el Estado de México (tabla XII). Con excepción del Estado de México, solamente son 13 los estados de la República que tienen trabajos en el nivel de parcelas teniendo un promedio de 1.5 trabajos por estado (tabla XII).

## H. Estados de la República estudiados

El 82% de los trabajos se han realizado en sólo 10 estados, correspondiendo un 29% al Estado de México (ver tabla XIII). Existen 8 estados en donde se encontraron trabajos:

Tabla XI

Métodos utilizados por escala de los estudios realizados

Método	Parcela	Ladera	Cárcava	Cuenca	Municipio	Estado	Región	País
Colector	34	2	—	—	—	—	—	—
Imagen de satélite	—	—	—	2	1	17	—	3
Foto de interpretación	—	—	—	8	—	1	—	5
Sedimentos en suspensión	1	—	1	4	—	—	—	4
Modelos matemáticos	1	—	—	2	1	4	—	1
EUPS	—	—	—	2	—	2	2	1
FAO	—	—	—	—	3	3	—	1
Cartográfico	1	—	—	—	2	2	1	—
Topográfico	2	—	1	—	—	—	—	—
Varillas	2	—	—	—	—	—	—	—
Cárcavas	—	—	—	—	—	—	2	—
Laboratorio	2	—	—	—	—	—	—	—

Baja California Norte, Baja California Sur, Campeche, Chihuahua, Guerrero, Morelos, Quintana Roo y Sinaloa. Entre éstos se encuentran estados muy afectados, como son los casos de Morelos y de Guerrero. La

concentración de los trabajos también se da al interior de los estados, por ejemplo en el Estado de México la mayoría de los trabajos han sido elaborados en los terrenos del CP y de la UACH (tabla XIV).

Tabla XII

Trabajos realizados en los diferentes estados de la República por escala

País	Parcela	Ladera	Cárcava	Cuenca	Municipio	Estado	Región	País
País	—	—	—	—	—	—	—	24
Estado de México	21	3	—	13	1	5	—	—
Jalisco	4	—	—	—	2	3	—	—
Veracruz	1	—	—	2	—	3	2	—
Distrito Federal	—	—	—	—	1	6	—	—
San Luis Potosí	3	—	—	1	2	1	—	—
Guanajuato	1	—	—	—	—	4	—	—
Michoacán	—	—	1	1	2	1	—	—
Colima	—	—	—	—	3	1	—	—
Tamaulipas	1	—	—	—	—	3	—	—
Aguascalientes	—	—	—	—	—	3	—	—
Oaxaca	—	—	—	—	2	—	1	—
Puebla	2	—	—	—	—	1	—	—
Zacatecas	1	—	1	—	1	—	—	—
Centro de México	—	—	—	—	—	—	2	—
Chiapas	2	—	—	—	—	—	—	—
Durango	—	—	—	1	—	1	—	—
Sonora	1	—	—	—	—	1	—	—
Tabasco	1	—	—	—	—	1	—	—
Tlaxcala	—	2	—	—	—	—	—	—
Coahuila	1	—	—	—	—	—	—	—
Hidalgo	1	—	—	—	—	—	—	—
Nayarit	—	—	—	—	1	—	—	—
Norte del país	—	—	—	—	—	—	1	—
Nuevo León	—	—	—	—	—	1	—	—
Querétaro	—	—	—	—	—	1	—	—
Yucatán	1	—	—	—	—	—	—	—

Tabla XIII

*Bibliografía sobre erosión hídrica por estados*

Estado	Número de citas	%
Estado de México	43	29.1
País	24	16.2
Jalisco	9	6.1
Veracruz	8	5.4
Distrito Federal	7	4.7
San Luis Potosí	7	4.7
Guanajuato	5	3.4
Michoacán	5	3.4
Colima	4	2.7
Tamaulipas	4	2.7
Zacatecas	4	2.7
Aguascalientes	3	2.0
Oaxaca	3	2.0
Puebla	3	2.0
Chiapas	2	1.3
Sonora	2	1.3
Tabasco	2	1.3
Tlaxcala	2	1.3
Durango	2	1.3
Centro de México	2	1.3
Norte del país	1	0.6
Nayarit	1	0.6
Yucatán	1	0.6
Querétaro	1	0.6
Nuevo León	1	0.6
Hidalgo	1	0.6
Coahuila	1	0.6

Estos datos muestran que la elaboración de estudios de erosión no obedece a prioridades nacionales, sino que depende de los intereses particulares de las instituciones o autores que los realizan (ver tabla XIV). Por ejemplo, el Estado de México es el más estudiado, probablemente porque ahí se localiza el CP (60% de los trabajos), la UACH (13% de los trabajos) y la UNAM (9%). El segundo estado más estudiado es Jalisco, siendo la UG la que contribuye con el mayor número de trabajos en la entidad (55%) y la UNAM que tiene una Estación de Biología en la localidad de Chamela (22% de los trabajos).

De igual manera, las escalas y los métodos con los que se ha trabajado responden a intereses institucionales (ver tabla XII). Así por ejemplo, tenemos que el Centro Científico de la IBM sólo ha utilizado percepción remota; en casi todas las entidades federativas,

las escalas de municipio y de estado son las más importantes (estudios elaborados por la SARH); y en el Estado de México, San Luis Potosí y Jalisco, predominan los estudios en parcelas (elaborados por el CP, la UACH y la UNAM).

## I. Zonas climáticas incluidas

En la tabla XV se muestra el número de trabajos por zonas climáticas. En zonas templadas se han realizado 64.8% de los trabajos, existiendo un gran vacío en zonas tropicales, las cuales son las más susceptibles al proceso de erosión hídrica. En el trópico seco sólo se han realizado el 8.8% de los trabajos y el 6.6% en el trópico húmedo. Esto, de nuevo nos muestra que la selección de sitios de estudio no intenta abordar las zonas más afectadas o más importantes, sino que se seleccionan sitios cercanos a las instituciones.

## J. Temas abordados

En la tabla XVI se muestra la variedad de temas que se han abordado en estudios de erosión hídrica en México. Sin embargo más del 50% de los trabajos cubren sólo dos temas: 1) evaluaciones a distintas escalas y 2) aspectos metodológicos. Esto es un indicador muy claro de que aún nos encontramos en la fase inicial de la investigación sobre el proceso erosivo en México. Es decir, aun estamos interesados en conocer qué tan serios son los problemas, y en definir los métodos apropiados para enfrentarlos. Es interesante notar que menos del 10% de los trabajos incluyen aspectos experimentales, y que el Colegio de Posgraduados es la institución que más ha contribuido a este respecto (39% de los trabajos). Asimismo, es el CP quien ha contribuido con el mayor número de estudios de tipo teórico. La SARH, en cambio, ha puesto mayor énfasis en estudios metodológicos y de evaluación local y global (véase la tabla XVII). También es importante destacar que la UACH es la institución que ha contribuido con la mayoría de los trabajos de tipo cartográfico.

## II. CONCLUSIONES

Del análisis de la bibliografía existente sobre erosión hídrica en México podemos concluir lo siguiente:

Tabla XIV

Instituciones que han realizado trabajos sobre erosión en los diferentes estados de la República

Entidad	Total	CP	SARH	UACH	Ext	UNAM	UG	IBM	ESAHE	UAT	Otras
Edo de México	43	26	1	6	2	4	1	2	1	—	—
País	24	2	12	2	2	—	—	1	—	—	5
Jalisco	9	—	—	—	1	2	5	—	—	—	1
Veracruz	8	—	4	—	1	1	—	—	—	—	2
San Luis Potosí	7	3	1	1	—	—	1	—	—	—	1
Distrito Federal	7	—	2	—	—	2	—	2	—	—	1
Guanajuato	5	1	3	—	—	—	—	1	—	—	—
Michoacán	5	1	1	1	1	1	—	—	—	—	—
Colima	4	—	1	3	—	—	—	—	—	—	—
Tamaulipas	4	—	1	—	—	—	—	—	—	3	—
Zacatecas	4	1	1	1	—	—	—	—	1	—	—
Agascalientes	3	—	1	—	—	—	—	—	1	—	1
Oaxaca	3	1	—	2	—	—	—	—	—	—	—
Puebla	3	1	1	—	1	—	—	—	—	—	—
Centro México	2	—	—	—	2	—	—	—	—	—	—
Chiapas	2	—	2	—	—	—	—	—	—	—	—
Sonora	2	—	1	1	—	—	—	—	—	—	—
Tabasco	2	1	1	—	—	—	—	—	—	—	—
Tlaxcala	2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2
Coahuila	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1
Durango	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1
Hidalgo	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1
Lat América	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1
Nayarit	1	—	1	—	—	—	—	—	—	—	—
Norte País	1	—	1	—	—	—	—	—	—	—	—
Nuevo León	1	—	1	—	—	—	—	—	—	—	—
Querétaro	1	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Yucatán	1	—	1	—	—	—	—	—	—	—	—

Legenda: CP = Colegio de Posgraduados, SARH = Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, UACH = Universidad Autónoma de Chapingo, Ext = Instituciones Extranjeras, UNAM = Universidad Nacional Autónoma de México, UG = Universidad de Guadalajara, IBM = Centro Científico IBM, ESAHE = Escuela Superior de Agricultura Hermanos Escobar, UAT = Universidad Autónoma de Tamaulipas.

Tabla XV

Citas encontradas para diferentes regiones climáticas de México

Región	Número de citas	%
Templada	59	64.8
Árida	18	19.8
Trópico seco	8	8.8
Trópico húmedo	6	6.6

a) Existe muy poca información al respecto, y ésta es de difícil acceso dado que sólo un porcentaje pequeño de la misma está formalmente publicado.

b) Muchas instituciones e investigadores

han participado en proyectos sobre erosión hídrica. No obstante, no se ha logrado formalizar una verdadera escuela en torno al problema. Existe la esperanza que esto mejore dada la incorporación de investigadores jóvenes formalmente entrenados en dicho campo.

c) Son dos las etapas en que se encuentran los trabajos de erosión en México: 1) la determinación de métodos de estudio apropiados para las condiciones nacionales, y 2) la evaluación de superficies erosionadas a distintas escalas. No se ha dejado a un lado la investigación básica, teniendo ésta alguna influencia en la conservación de suelos. No obstante, estos estudios son sumamente

Tabla XVI  
Temática de las citas sobre trabajos de erosión hídrica en México\*

Tema	Número de citas	%
Metodológico	73	18.7
Evaluación local	66	16.9
Evaluación puntual	50	12.8
Teórico	42	10.7
Implementación	36	9.2
Experimental	36	9.2
Evaluación global	18	4.6
Cobertura	12	3.1
Cartográfica	12	3.1
Lluvia	8	2.0
Erodibilidad del suelo	6	1.5
Análisis	6	1.5
Eólica	6	1.5
Riesgo	5	1.3
Nutrientes	4	1.0
Cárcavas	3	0.8

Tabla XVI  
Continuación

Tema	Número de citas	%
Escorrentía	3	0.8
Social	2	0.5
Azolve	2	0.5

\* El significado de los temas se puede ver en la tabla I, inciso h.

escasos como para basar en ellos toda una política de conservación de suelos.

d) Ha existido un esfuerzo importante para llevar a cabo un inventario nacional del porcentaje de tierras erosionadas del país. Sin embargo, no se han considerado los alcances de cada uno de los métodos, pues las técnicas utilizadas generan evaluaciones subjetivas y poco cuantitativas. Los escasos datos obtenidos con métodos más exactos no son extrapolables al nivel estatal, a otras zonas climáticas o al nivel nacional.

Tabla XVII

Temática de las citas sobre trabajos de erosión hídrica en México por institución

Institución	Metd	ELoc	EPun	Teor	Impl	Expe	EGlo	Cobe	Cart	Lluu	Erod	Otros
CP	14	9	23	12	12	14	2	4	—	6	3	7
SARH	23	17	8	4	11	7	9	1	—	—	—	3
UACH	7	10	5	5	1	4	2	4	7	1	—	6
Extranjeras	5	5	4	6	—	4	2	—	—	—	3	2
UNAM	4	5	2	7	—	2	—	—	—	—	—	6
UG	5	6	—	2	1	—	—	1	3	—	—	1
ESAHE	2	2	1	3	2	—	—	—	—	—	—	1
CC IBM	4	3	—	1	—	—	—	—	—	—	—	—
UAT	3	3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1
CIFAEM	2	—	2	—	2	—	—	—	—	—	—	—
INIREB	2	2	—	—	—	—	—	—	1	—	—	—
UAAAN	—	1	1	—	2	1	—	—	—	—	—	—
UAM-X	—	2	—	—	1	—	—	—	—	—	—	2
CEFAPCJAL	—	—	1	—	—	1	—	1	—	—	—	—
I Ecología	—	—	1	—	—	1	—	—	—	—	—	1
PEMEX	—	—	1	—	1	1	—	—	—	—	—	—
UACJ	1	—	—	—	1	—	1	—	—	—	—	—
CIFAP-Ags	—	—	—	1	—	—	—	—	—	1	—	—
IPN-ENCB	1	—	—	—	1	—	—	—	—	—	—	—
SARH-ENA	—	—	1	—	—	1	—	—	—	—	—	—
UANL	—	—	—	1	1	—	—	—	—	—	—	—
CSAEG	—	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
FAO	—	—	—	—	—	—	1	—	—	—	—	—
IEPES	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
INEGI	—	—	—	—	—	—	1	—	—	—	—	1

Legenda: Metd = Metodológico, ELoc = Evaluación local, EPun = Evaluación puntual, Teor = Teórico, Impl = Implementación, Expe = Experimental, EGlo = Evaluación global, Cobe = Cobertura, Cart = Cartografía, Lluu = Erosividad de la lluvia, Erod = Erosividad del suelo. El significado de las siglas de instituciones se puede ver en la tabla IV, y el significado de los temas se puede ver en la tabla I, inciso h.

e) Muy pocos estados de la República han sido suficientemente estudiados, y en varios de ellos no existe información alguna. De igual manera, las zonas climáticas no han sido bien representadas en los trabajos existentes.

f) Todo lo anterior muestra que existe una clara ausencia de prioridades en los programas de estudio de erosión en México. Sin embargo, es alentador que en los últimos años ha aumentado el número de trabajos sobre la materia. Estos trabajos han abordado gran diversidad de temas y, sobre todo, se buscan nuevos métodos de estudio de la erosión.

### III. RECOMENDACIONES

Es urgente incrementar y apoyar en gran medida la investigación sobre erosión hídrica en México. No sólo aquella tendiente a conocer el actual estado de deterioro de nuestros suelos, sino también la dirigida a entender su proceso de erosión, y a generar otras técnicas para su conservación. Se debe poner mayor atención a las zonas tropicales y con pendientes pronunciadas, pues son éstas las menos estudiadas y las más susceptibles al proceso erosivo. Asimismo, es indispensable apoyarse en técnicas de evaluación cuantitativa más exactas. Finalmente, es importante fomentar la publicación formal de los trabajos realizados, a fin de que éstos sean accesibles.

### AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al M en C J Estrada Berg por facilitar fuentes de información utilizadas en el presente estudio, así como al Dr Roberto Maass E por sus comentarios y sugerencias el manuscrito original, a la Bióloga Rocío Esteban por su apoyo técnico y a la Maestra Marta Torres por la revisión del texto. La presente investigación se realizó gracias al apoyo recibido por parte del Conacyt y de la OEA dentro de su Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico.

### REFERENCIAS

- Büttenklepper, A, *Ciencia* (1984) 35, 19-32.
- De-Ita, C, *Patrones de producción agrícola en un ecosistema tropical estacional en la costa de Jalisco* (Tesis de Licenciatura, UNAM, México, 1983) p 183.
- Lal, R., "Review of Soil Erosion Research in Latin America", *Soil Conservation and Management in the Humid Tropics*, DJ Greenland y R Lal (Eds) (John Wiley & Sons, Nueva York, 1977) pp 231-240.
- Maass, JM, y F García-Oliva, *Ciencia y Desarrollo* (1990) 15 (90), 21-36.
- Rzedzowski, J, *Vegetación de México* (Limusa, México, 1978) p 432.
- Toledo, V, J Carabias, C Mapes y C Toledo, *Ecología y autoeficiencia* (Siglo XXI, México, 1987) p 118.

### ANEXO BIBLIOGRÁFICO SOBRE EROSIÓN HÍDRICA EN MÉXICO

#### Artículos publicados en revistas

- Barrios, R., "Trabajos para combatir la erosión de Tlaxcala", *México Agrícola* (1959) 6, 65-66.
- Blanco Macías, G., "El control de la erosión como factor fundamental de la descontaminación ambiental", *Medio Ambiente* (1974) 5, 18-21.
- Bustamante, A., R Fontanot, R García, G González, J González y R Oliva, "Detección de zonas erosionadas mediante imágenes de satélite", *Centro Científico IBM* (1977) 3, 1-23.
- Cook, SF, "Erosion morphology and occupation history in western Mexico", *University of California Anthropological Records* (1963) 17 (3), 281-334.
- Estrada Berg, J y CA Ortiz Solorio, "Plano de la erosión hídrica del suelo en México, su representación escala 1:8,000,000 obtenido para la metodología FAO (1979)", *Geografía Agrícola* (1982) 3, 23-27.
- Fernández, RJ, "Organización de patronatos estatales para combatir la erosión en las montañas", *Rev Mensajero Forestal* (1957) 159, 1.
- García Lagos, R., "Diagnóstico sobre el estado actual de la erosión en México", *Terra* (1983) 1 (1), 11-14.
- García Zermeno, R, J González D, G González Rodríguez y R Oliva, "Evaluación y representación cartográfica de cinco grados de erosión del Estado de México y DF mediante análisis automatizado de imágenes de satélite", *Centro Científico IBM* (1979) 5, 1-23.
- Hernández, M y A Flores, "Machine processing of remotely sensed data: three applications in Mexico".
- Jáuregui, O., "La erosión hidráulica y cólica en México y sus efectos en las estructuras hidráulicas y en los núcleos de población", *Boletín del Instituto de Geografía, UNAM* (1970) 3, 39-60.
- Jáuregui, O., "La erosión cólica en los suelos vecinos al lago de Texcoco", *Ingeniería Hidráulica en México* (1971) 25 (2), 103-117.
- Maass, JM, CF Jordan y J Sarukhán, "Soil erosion and nutrient losses in seasonal tropical agroecosystem under various management techniques", *J Applied Ecology* (1988) 25, 595-607.
- Raa, T., "Estudio de la erosión en la cuenca alta del río La Antigua, Veracruz, México", *Biótica* (1983) 8 (4), 361-380.
- Ruiz Figueroa, J y M Anaya Garduño, "Evaluación de cinco tipos de terrazas en suelos de ladera de la cuenca del río Texcoco", *Agrociencia* (1980) 41, 129-144.
- Schonhals, E., "Durjians als Ursache der Bodenerosion im Hochbocken von Puebla-Tlaxcala", *Gesellschaft* (1977) 25, 489-496.
- Trueba, A, S Trueba y M Anaya Garduño, "Evaluación de la eficiencia de cuatro prácticas mecánicas para reducir las pérdidas de suelo y nutrientes por erosión hídrica en terrenos agrícolas de temporal", *Agrociencia* (1979) 34, 89-100.
- Verdugo Gutiérrez, J., "Erosión, pobreza mexicana", *Bosques y Fauna* (1974) 11 (2), 47-55.
- Wegener, HR., "La erosión acústica de los suelos de Puebla-Tlaxcala", *Comunicaciones* (1979) 16, 57-68.

## Libros

- Anaya Garduño, M, M Martínez Menez, A Trueba Carranza, B Figueroa Sandoval y O Fernández Marroquín, *Manual de Conservación de Suelo y Agua* (Colegio de Posgraduados y SARH, Chapingo, México, 1977) 584 págs.
- Anaya Garduño, M, *Problemas de erosión y desertificación en suelos de América Latina* (Universidad Autónoma de Chapingo, México, 1986).
- Anaya Garduño, M, *El hombre y la erosión del suelo* (Documento Colegio de Posgraduados, Chapingo, México, 1977).
- Andrade, A, *La erosión* (FCEI, México, 1975) 64 págs.
- Blanco Macías y O Ramírez Cervantes, *La conservación del suelo y agua* (Instituto Mexicano Recursos Naturales Renovables, México, 1966) 113 págs.
- Cook, SF, *Soil erosion and population in central Mexico* (University of California Press, EUA, 1949).
- Geissert, J y JP Rossignol, *La morfodología en la ordenación de los Paisajes rurales. Concepciones y primeras aplicaciones en México* (Instituto Nacional de Investigaciones sobre Recursos Bióticos, México, 1987) 83 págs.

## Atlas

- Atlas de México 1975, "Erosión en México" (Bureau of Business Research, The University of Texas, Austin EUA).
- INEGI, "Cartas de uso de suelo" (1:50,000 y 1:250,000).

## Documentos aceptados para publicar

- Beltrán Blanco, A, JL Tovar Salinas, CA Ortiz Solorio y JD Ríos Berber, "Modelo de desarrollo de la terraza de base angosta en suelos someros de temporal", *Agrociencia* (México, en prensa, 1989).
- Bocco, G, "El inventario de erosión antrópica: acarcamiento en el Sistema Volcánico Transversal, México", *Boletín del Instituto de Geografía* (Universidad Nacional Autónoma de México, México, en prensa, 1989).
- Bocco, G, "Cartografía geomorfológica y análisis morfométrico para estudios de erosión acelerada. Estudio de caso en la cuenca del río Tlapujahua, México", *Boletín del Instituto de Geografía* (Universidad Nacional Autónoma de México, México, en prensa, 1989).
- Bocco, G, "Análisis estadístico de datos hidro-meteorológicos en estudios de erosión acelerada. Un estudio caso en la cuenca del río Tlapujahua, México", *Boletín del Instituto de Geografía* (Universidad Nacional Autónoma de México, México, en prensa, 1989).
- Maass, JM, *El suelo: un recurso no renovable* (Siglo XXI-Universidad Nacional Autónoma de México, México, aceptado para su publicación, 1988).
- Vich, AJJ, M Anaya Garduño, M Martínez Menez, R Cuevas, y O Alvarez, "Modelo de simulación de balance de agua y de producción de sedimentos a nivel parcela", *Agrociencia* (México, en prensa, 1989).
- Tesis
- Abuxaoqui Salcedo, P, *Estudio preliminar de las comunidades degradadoras en el ejido de San Vicente, Mpio Villa Reyes, SLP* (Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco, México, 1979).
- Adame Martínez, S, *Metodología para predecir riesgo potencial y velocidad actual de erosión* (Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México, México, 1987).
- Aguilar Sánchez, G, *Metodología para obtener y aplicar factores de la EUPS para condiciones de México* (Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma de Chapingo, 1982).
- Amanie Orozco, A, *Evaluación de ecuaciones paramétricas para la predicción de la erosión hídrica en el área de estudio del CREZAS-CP* (Tesis de licenciatura, Universidad de Guadalajara, México, 1985).
- Arias Rojo, HM, *El factor "R" de la EUPS en la cuenca del Río Texcoco* (Tesis de maestría, Colegio de Posgraduados, Chapingo, México, 1980).
- Avila Hernández, M, *Recuperación de suelos erosionados de Chapingo, México, con plantaciones forestales* (Tesis de maestría, Colegio de Posgraduados, Chapingo, México, 1983).
- Ayvar S, S, *Estudio preliminar para cuantificar la erosión hídrica bajo diferentes sistemas de producción* (Tesis de licenciatura, Colegio Superior de Agricultura del Estado de Guerrero, México, 1984).
- Beltrán Blanco, A, *Modelo de desarrollo de la terraza de base angosta en suelos someros de temporal* (Tesis de maestría, Colegio de Posgraduados, Chapingo, México, 1988).
- Bernal González, JL, *Erosión actual de la zona norte del Estado de Jalisco por el método FAO-UNESCO* (Tesis de licenciatura, Universidad de Guadalajara, México, 1985).
- Bocco, G, *Aspects of a anthropic erosion in the Tlapujahua river basin, central Mexico* (Tesis de maestría, ITC, Enschede, Holanda, 1986).
- Breña Zepeda, E, P Rubalcava Nuñez y CJ Torre Rueta, *Geografía aplicada al proceso erosivo en la subcuenca de las orillas del río Lerma hasta la presa Alzate, Edo Mex* (Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México, México, 1980).
- Cabrera Carbajal, F, *Algunos criterios para evaluar los sistemas de labranza aplicados a dos suelos de México* (Tesis de maestría, Colegio de Posgraduados, Chapingo, México, 1988).
- Díaz Maldonado, E, *La erosión hídrica en el bosque de la Primavera, Jal. Efecto de la cobertura vegetal y la lluvia* (Tesis de licenciatura, Universidad de Guadalajara, México, 1983).
- Escobedo Portales, S, *Conservación de suelos* (Tesis de licenciatura, Escuela Superior de Agricultura "Hermanos Escobar", Cd Juárez, Chih, México, 1960).
- Espinosa Rodríguez, JM, *Metodología para cartografiar la erosión potencial* (Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México, México, 1984).
- Estrada Luna, A, *Influencia de la Labranza sobre erosión edica y caracterización de algunos de sus efectos en Panfilo Nájera, Zac* (Tesis de licenciatura, Escuela Superior de Agricultura "Hermanos Escobar", México, 1985).
- Figueroa Sandoval, B, *Pérdidas de suelos y nutrientes y su relación con el uso del suelo en la cuenca del río Texcoco* (Tesis de maestría, Colegio de Posgraduados, Chapingo, México, 1975).
- Figueroa Sandoval, B, *A study of the physical stability of soil aggregates and its relevance to water erosion* (Tesis de doctorado, 1979).
- Freire Velázquez, S, *Control de erosión hídrica y reductores plaga en San Salvador Cotahuilco, Alfoja Alto DF* (Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco, México, 1984).
- García García, E, *Erosión actual de la zona oriental del Edo de Jal, por el método FAO-UNESCO* (Tesis de licenciatura, Universidad de Guadalajara México, 1984).
- González Ríos, JM, *Introducción y evolución de gramíneas y leguminosas establecidas en áreas degradadas para su uso en conservación de suelos y producción de forraje en sistemas asociados a maíz* (Tesis de maestría, Colegio de Posgraduados, Chapingo, México, 1984).
- Huerta Palacios, JM, *Levantamiento fisiográfico del Municipio de Atzacmulco, Estado de México, para la cartografía de*

- tierras erosionadas (Tesis de licenciatura, Universidad de Guadalajara, México, 1981).
- Jacinto Arias, JL, *Evaluación de riesgo de degradación de los suelos del Estado de Michoacán* (Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma de Chapingo, México, 1988).
- León Arieta, R, *El levantamiento fisiográfico y la conservación del suelo; el levantamiento fisiográfico en la planeación de un programa de conservación y recuperación de suelos con problemas de erosión acelerada en 9 cuencas del valle de México* (Tesis de maestría, Colegio de Posgraduados, Chapingo, México, 1975).
- López Yañez, H, *Evaluación y cartografía de dos procesos primarios de desertificación en el techo de ex-lago de Texcoco* (Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma de Chapingo, México, 1985).
- Maass, JM, *Soil erosion and nutrient losses in seasonal tropical agroecosystem under various management techniques* (Tesis de doctorado, University of Georgia, EUA, 1986).
- Martínez Menez, M, *Erosion modeling for upland areas* (Tesis de doctorado, 1979).
- Martínez Peña, GP, *Aplicación de la metodología de cartografía de la erosión hídrica con enfoque geomorfológico en la Muestra Alta de Oaxaca área de Chazumba* (Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma de Chapingo, México, 1988).
- Montenegro González, H, *Efecto de la lluvia sobre la estructura interna de los suelos labrados* (Tesis de maestría, Colegio de Posgraduados, Chapingo, México, 1982).
- Orozco Magren, G, *Cuantificación de las pérdidas de suelo y escurrimiento superficiales en tres tipos de cobertura de pasto, bajo condiciones de lluvia simulada en Lomas de San Juan, Chapingo, México* (Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma de Chapingo, México, 1984).
- Oropesa Mota, JL, *Evaluación de la erosión hídrica* (Tesis maestría, Colegio de Posgraduados, Chapingo, México, 1980).
- Ortega Salazar, J, *La erosión y sus consecuencias* (Tesis, Escuela Superior de Agricultura "Hermanos Escobar", Cd Juárez, Chih, México, 1960).
- Osuna Ceja, ES, *Efecto de la lluvia sobre las propiedades físicas de los suelos labrados* (Tesis de maestría, Colegio de Posgraduados, Chapingo, México, 1987).
- Rey, CJA, *Estimación de la erodibilidad de los Tepetates en la cuenca del río Texcoco en base al factor K* (Tesis de maestría, Colegio de Posgraduados, Chapingo, México, 1979).
- Ríos Berber, JD, *Efecto de la cobertura vegetal en el proceso erosivo* (Tesis de maestría, Colegio de Posgraduados, Chapingo, México, 1987).
- Rodríguez Chávez, N, *Predicción de sedimentos en cinco micro-cuencas del río San Bernardino, México* (Tesis de maestría, Colegio de Posgraduados, Chapingo, México, 1980).
- Rodríguez Olvera JM y J Pimentel López, *Evaluación de un método cartográfico para tierras erosionadas en zonas áridas y semiáridas* (Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma de Chapingo, México, 1985).
- Rodríguez Guzmán, B, *Predicción de los escurrimientos superficiales de la cuenca del río Texcoco* (Tesis de maestría, Colegio de Posgraduados, Chapingo, México, 1982).
- Román Flores, B, *Prácticas recomendables de conservación de suelo y agua en el Estado de Aguascalientes* (Tesis, Licenciatura, Escuela Superior de Agricultura "Hermanos Escobar", Cd Juárez, Chih, México, 1973).
- Ronquillo Bustillos, JA, *Características de una cuenca, principios hidrológicos-forestales y planeación de obras de control de azoles* (Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma de Chapingo, México, 1983).
- Rubio Montoya, D, *Determination of the erodibility factor of soil and lignite spoils* (Tesis de doctorado, 1981).
- Ruiz Figueroa, J, *Evaluación de cinco tipos de terrazas en suelos de ladera de la cuenca del Río Texcoco* (Tesis de maestría, Colegio de Posgraduados, Chapingo, México, 1979).
- Saavedra Palomares, JA, *Erosión en tierras abiertas al cultivo en la Concepción, Mpio de la Huerta, Jalisco* (Tesis de licenciatura, Universidad de Guadalajara, México, 1985).
- Sánchez Ardillano, *Efecto del sobrepastoreo en el urrasre de sedimentos sobre la cuenca del río Sonora* (Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma de Chapingo, México, 1988).
- Sánchez Fernández, S, *Conservación de suelos* (Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma de Nuevo León, México, 1981).
- Sancholuz, LA, *Land degradation in Mexican maize fields* (Tesis de doctorado, The University of British Columbia, Canadá, 1984).
- Sandoval Villa, M, *Evaluación de la desertificación en el municipio de Cuauhtémoc, Colima* (Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma de Chapingo, México, 1987).
- Solano de la Sala Torres, JA, *Efecto de la relación precipitación escurritela en el proceso erosivo en diferentes usos de suelo en la cuenca del río Texcoco* (Tesis de maestría, Colegio de Posgraduados, Chapingo, México, 1982).
- Tejada Guerrero, J, *Prácticas de conservación para las tierras de temporal* (Tesis de licenciatura, Escuela Superior de Agricultura "Hermanos Escobar", Cd Juárez, Chih, México, 1960).
- Terrazas, GJL, *Manejo de suelos para reducir la erosión y aumentar la productividad en los suelos agrícolas de ladera de la cuenca del río Texcoco* (Tesis de maestría, Colegio de Posgraduados, Chapingo, México, 1977).
- Terrazas González, GH, *Obtención de modelos matemáticos para predecir erosión en función del clima en la República Mexicana* (Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma de Chapingo, México, 1983).
- Torres Flores, CA, *Control de la erosión en la cuenca del río Santiaguilla, México* (Tesis de licenciatura, Escuela Superior de Agricultura "Hermanos Escobar", Cd Juárez, Chih, México, 1965).
- Tovar Soto, *Erosión Eólica: una medición de campo en Zacatecas* (Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma de Chapingo, México, 1986).
- Trueba, A, *Evaluación de la eficiencia de cuatro prácticas mecánicas para reducir las pérdidas del suelo y nutrientes por erosión hídrica en terrenos agrícolas de temporal* (Tesis de maestría, Colegio de Posgraduados, Chapingo, México, 1978).
- Trujillo, HS, *Efecto de la cobertura vegetal en el proceso erosivo* (Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma de Chapingo, México, sf).
- Valencia Barajas, JM, *Construcción de un simulador de erosión eólica para laboratorio* (Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma de Chapingo, México, 1987).
- Zamorá Monzaba, NC, *La erosión del suelo y sus métodos de control apropiados* (Tesis de licenciatura, Universidad de Guadalajara, México, 1982).
- Zazueta Zazueta, G, *Influencia de los sistemas de labranza y obras de conservación en la productividad* (Tesis de maestría, Colegio de Posgraduados, Chapingo, México, 1984).

## Documentos internos

- Anónimo, "La erosión en el alto Papaloapan", *Comisión del Papaloapan* (SRH, Ciudad Alemán, México, 1965).
- DGCSA, *Censo de erosión en México* (Documento interno SAG, México, 1966).
- DGCSA, *Censo de erosión en México* (Documento Interno SAG, México, 1972).
- DGCSA, *Informe técnico del campo experimental "Las Ollas", Chiapas* (Reporte Interno, SAG, México, 1972).
- DGCSA, *Inventarios de áreas erosionadas del estado de Guanajuato* (SARH, México, 1979).
- DGCSA, *Inventarios de áreas erosionadas del estado de SLP* (SARH, México, 1981).
- DGCSA, *Inventarios de áreas erosionadas del estado de Sonora* (SARH, México, 1982).

- DGCSA, *Inventarios de áreas erosionadas del estado de Veracruz* (SARH, México, 1982).
- DGCSA, *Inventarios de áreas erosionadas del estado de México y DF* (SARH, México, 1983).
- DGCSA, *Inventarios de áreas erosionadas del estado de Aguascalientes* (SARH, México, 1984).
- DGCSA, *Inventarios de áreas erosionadas del estado de Colima* (SARH, México, 1984).
- DGCSA, *Inventarios de áreas erosionadas del estado de Nuevo León* (SARH, México, 1984).
- DGCSA, *Inventarios de áreas erosionadas del estado de Puebla* (SARH, México, 1984).
- DGCSA, *Inventarios de áreas erosionadas del estado de Guanajuato* (SARH, México, 1979).
- Martínez Menez, M y J Fernández Villarreal, *Jerarquización de acciones de conservación de suelos a partir de cuencas hidrológicas* (Documento Interno, SARH, México, 1983).
- Martínez Menez, M, A Benítez Omaña y J Fernández Villarreal, *Evaluación de la erosión y sedimentos a nivel nacional* (Documento Interno, SARH, sf).
- Rodríguez-Bejarano, D, *Applications of Landsat and Skylab imagery in Mexico: detection of erosion and forest damage* (1986) pp 1609-1613.
- Salgado, PE, LE Fernández y MG Blanco, *Programa para la conservación del suelo y del agua durante el sexenio del Gobierno 1970-1976* (IEPES, México, 1977).
- Sánchez Espanza, D, *Estudio de métodos de conservación de suelo en el cultivo de Yuca en Huautlaquillo, Tab* (Documento interno, SARH, México 1979).
- Vázquez, AV, *La conservación del suelo y agua* (Documento interno, SARH, México, 1986) 54 págs.
- ### Trabajos en congresos
- Aguilar Lojero R, A Roldán Parrodi y R Chavira, "Prácticas vegetativas para fijar taludes de cárcavas en Pátzcuaro, Mich", *Memorias del XII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo* (Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, México, 1980) pp 113-126.
- Almáguera Sierra, P, JL Hinojosa, BI Castro Meza, JM Plácido de la C y A Cardona Estrada, "Riesgo de erosión en Tamaulipas", *Memorias del XXI Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo* (Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, México, 1988) p 265.
- Arias Rojo, HM, "Comparación entre seis índices de erosividad en la cuenca del río Texcoco", *Memorias del XXI Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo* (Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, México, 1980) pp 73-93.
- Arias Rojo, HM, "Metodología para el diseño de presas de control de azolves", *Memorias del XXI Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo* (Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, México, 1988) p 247.
- Arias Rojo, HM, "Un nuevo enfoque para calcular el espaciamiento de terrazas de base anagosa", *Memorias del XXI Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo* (Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, México, 1988) p 250.
- Benítez, A, R Sánchez y R Vital, "Inventory of eroded areas in the state of Guanajuato Mexico, by automatic analysis of Landsat images", *Memory of Fifteenth International Symposium on Remote Sensing of Environment* (1981) pp 1353-1362.
- Boaco, G y CR Valenzuela, "Digital image processing techniques for soil erosion assessment in central Mexico", *Symposium on Remote sensing applications in hydrology and natural resources* (Amman, 1987).
- Campos Cascardero, A y D Geisbert, "Identificación y cartografía de erosión del Suelo mediante imágenes Spot", *Memorias del XXI Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo* (Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, México, 1988) p 19.
- Cervantes Borja, J, "Importancia de la escorrentía en la erosión del Suelo", *Memorias del VII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo* (Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, México, 1974) pp 276-292.
- Charles Leo, J y C Ortiz Solorio, "Evaluación de la capacidad erosiva de la lluvia en la cuenca del río Texcoco", *Memorias del XX Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo* (Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, México, 1974) pp 276-292.
- Comité General, A, M Castañeda Zapata y J Uresti Gil, "Elaboración de un mapa de riesgo de erosión en la zona centro del Estado de Veracruz: un estudio piloto", *Memorias del XXI Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo* (Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, México, 1988) p 264.
- Coutiño, R, "Esquemas para el estudio de Cuencas", *Memorias del VII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo* (Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, México, 1974) pp 116-120.
- Covarrubias García, S, "Efecto de la pendiente y la edad de una pradera de Guinea (*Panicum maximum*) en el escurrimiento y erosión", *Memorias del XXI Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo* (Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, México, 1988) p 259.
- Cruz Cisneros, R, "Uso de plantas arbustivas en el control de la erosión", *Memorias del VII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo* (Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, México, 1974) pp 259-265.
- Elias Murgueta, L, F Ladrón G y J Morán González, "Efectos de la cobertura de Suelos con crudo intemperizado", *Memorias del XX Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo* (Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, México, 1987) p 196.
- Figueras Sandoval, B, S Peretes Rivea, JJ Ramos Santos, JA Téllez Lazada, "Comparación de índices de erosividad para las zonas semihúmedas del Edo de Querétaro", *Memorias del XV Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo* (Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, México, 1982) p 103.
- García, ZR, DJ González, RG González y GR Oliva, "Evaluación de cinco grades de erosión mediante análisis automatizado de imágenes de satélites del Estado de México y DF", *Memorias del X Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo* (Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, México, 1977) p 51.
- Garzón Ceballos, C y C Velázquez Madrigal, "Establecimiento y desarrollo de cuatro pinos sobre terrazas construidas en tepetates del AEF Matlalohcan, Tlax", *Memorias del XXI Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo* (Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, México, 1988) p 251.
- Garzón Ceballos, C, "Establecimiento y desarrollo de tres especies forestales en tepetates del AEF Matlalohcan, Tlax", *Memorias del XXI Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo* (Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, México, 1988) p 252.
- González, GJ, "La importancia de la erosión eólica y la erosión hídrica en el norte de México", *Memorias del IV Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo* (Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, México, 1969) pp 205-209.
- Guadiano, AJ y A Roldán Parrodi, "Control de la erosión en un campo de demostración de manejo de cuencas", *Memorias del VII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo* (Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, México, 1974) pp 253-258.
- López Martínez, J, "Efecto de tres prácticas agronómicas sobre la conservación y productividad de Suelos de laderra en el Freyleres, Chiapas", *Memorias del XXI Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo* (Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, México, 1988) p 261.
- Maass, JM, C Jordán y J Sarukhán, "Pérdida de suelo por erosión y técnicas para su control en agroecosistema de la costa de Jalisco, México", *Memorias del IX Congreso Mexicano de Botánica* (Sociedad Mexicana de Botánica, México, 1985).
- Maass, JM y F García-Oliva, "¿Qué se sabe sobre la erosión

- hídrica en México?", *Memorias del XXI Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo* (Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, México, 1988) p 240.
- Martínez Calleja, MD, JW Estrada Berg y E Sierra Cortés, "Evaluación de la erosión en las Mixtecas Oaxaqueñas", *Memorias del XX Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo* (Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, México, 1987) p 202.
- Martínez, G y JW Estrada, "Dinámica de la erosión en la cuenca del río Coxcoaco", *Memorias del IX Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo* (Sociedad de la Ciencia del Suelo, México, 1976) p 62.
- Martínez Menez, MR y J Fernández Villarreal, "Evaluación de la degradación específica a nivel nacional a partir de cuencas hidroclimáticas", *Memorias del XVII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo* (Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, México, 1984) p 73.
- Martínez Rivera, LM, "Conservación de suelo y agua en la isla María Madre, Nayarit", *Memorias del XXI Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo* (Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, México, 1988) p 263.
- Martínez Rivera, LM y LM Lasso Mendoza, "Efecto de la labranza tradicional y la labranza de conservación para el control de la erosión en el cultivo del maíz *Zea mays L.* bajo condiciones de temporal", *Memorias del XXI Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo* (Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, México, 1988) p 246.
- Nava Rodríguez, JA, "Influencia social en la conservación del suelo y el proceso erosivo, caso Sinaxtla, Oaxaca", *Memorias del XXI Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo* (Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, México, 1988) p 241.
- Ochoa Cunningham, F, "Obras para conservación del suelo y agua en prevención de inundaciones", *Memorias del XXI Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo* (Sociedad de la Ciencia del Suelo, México, 1988) p 248.
- Oteschko, K, M Martínez Menez y JR Chapa, "Labranza mínima como una alternativa para suelos andosoles hómicos de Páezuro, Mich", *Memorias del XVII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo* (Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, México, 1985).
- Olivares Rodríguez, F y R Cardoso Marín, "Aspectos socioeconómicos para la conservación del suelo y agua", *Memorias del XVII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo* (Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, México, 1984) p 69.
- Oropesa Mota, JL y M Martínez Menez, "Evaluación de la erosión hídrica sedimentos en suspensión en las cuencas de los ríos Texcoco y Chapingo", *Memorias del XIV Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo* (Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, México, 1981) pp 865-892.
- Osuna Ceja, ES, S Padilla Ramírez y E Martínez Meza, "Distribución espacial de los parámetros de erosividad (R) a través del tiempo para el Estado de Aguascalientes", *Memorias del XXI Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo* (Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, México, 1988) p 257.
- Osuna González, JP, "Estudio sobre algunas prácticas de conservación de suelos en relación con la erosión del suelo y la captación del agua de lluvia", *Memorias del III Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo* (Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, 1967) pp 522-529.
- Plácido de la Cruz, JM, BI Castro Meza, JL Hinojosa Medrano, A Cardona Estrada y P Almaguer Sierra, "Evaluación integral de la erosión en Tehuaculpan", *Memorias del XX Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo* (Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, México, 1987) p 201.
- Reyes Guerrero, D, "Erosión hídrica en forma horizontal causas principales del descenso de la producción milpera en Yucatán", *Memorias del XX Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo* (Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, México, 1988) p 262.
- Ríos Berber, JD y M Martínez Menez, "Variación temporal de la erosionalidad del suelo", *Memorias del XX Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo* (Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, México, 1987) p 193.
- Ríos Berber, JD y M Martínez Menez, "Evaluación del efecto de la cobertura vegetal en el proceso erosivo", *Memorias del XVII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo* (Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, México, 1987) p 74.
- Ríos Berber, JD y M Martínez Menez, "Las coberturas cultivadas y la erosión del suelo", *Memorias del XX Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo* (Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, México, 1987) p 194.
- Rubio Montoya, D y KW Wood, "Determinación del factor de erodibilidad en muestras pequeñas utilizando un simulador de lluvias", *Memorias del XX Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo* (Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, México, 1987) p 192.
- Sánchez Leal, JR, JL Tovar Salinas y M Anaya, "Sistemas de muestras múltiples de suelo y agua en lotes de escurrimiento", *Memorias del XVII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo* (Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, México, 1984) p 77.
- Sánchez Juárez M y E Santos Landia, "Pérdidas del suelo en lotes de escurrimiento", *Memorias del XVII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo* (Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, México, 1984) p 75.
- Sandoval Villa, M y J Estrada-Berg, "Diagnóstico integral para generar alternativas de uso y manejo del suelo", *Memorias del XXI Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo* (Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, México, 1988) p 242.
- Sandoval Villa, M y J Estrada-Berg, "Recomendaciones de uso y manejo del suelo del municipio Cuauhtémoc, Col, mediante un diagnóstico integral", *Memorias del XXI Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo* (Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, México, 1988) p 243.
- Silva Serna, MM, "Pérdidas de suelo durante los ciclos de cultivo de soya, sorgo y centeno en el sur de Tehuaculpan", *Memorias del XXI Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo* (Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, México, 1988) p 260.
- Tinoco Alfaro, CA, "Evaluación de cuatro niveles de labranza en el patrón de cultivo maíz sucesión maíz en el sur de Veracruz", *Memorias del XXI Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo* (Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, México, 1988) p 245.
- Tovar Soto, HM y Figueroa Sandoval, "Erosión eólica, una medición de campo en Zacatecas-San Luis Potosí", *Memorias del XVII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo* (Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, México, 1985) p 71.
- Trueba Carranza, A, A Benites Omaña, R Vital Pineda, R Guzmán Nava y R Sánchez Sánchez, "Inventario de áreas erosionadas en el Edo de Guanajuato mediante interpretación automática de imágenes de satélite", *Memorias del XII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo* (Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, México, 1980) pp 94-112.
- Trujillo Narcea, A, DJ Palma López y J Cisneros Domínguez, "La erosión del suelo en el Estado de Tabasco", *Memorias del XX Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo* (Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, México, 1987) p 203.
- Trujillo Herrera, S y M Anaya Garduño, "Evaluación de sistema de labranza y manejo de residuos para reducir la erosión", *Memorias del XXI Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo* (Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, México, 1988) p 244.
- Uribe, G, JL Tbvás y E Nuñez, "Uso del abono orgánico estiércol bovino como reductor de erosión", *Memorias del XX Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo* (Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, México, 1987) p 195.
- Velázquez Valle, MA y A Serna Pérez, "Determinación de la estabilidad de cárcavas en terrenos pastorados", *Memorias*

- del XXI Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo (Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, México, 1988) p 249.
- Ventura Ramos, E y JD Ríos Berber, "Dinámica de la erosión hídrica bajo diferentes niveles de productividad de maíz y cebada", *Memorias del XXI Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo* (Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, México, 1988) p 256.
- Villa, J y M Hernández, "Remote sensing application in Durango State Mexico", *International symposium on the use of remote sensing in Developing countries* (México, 1977).
- Villegas García, JG, JL Moreno Martínez, H Charcas Salazar, A Batron V y B Figueroa Sandoval, "Estudios sobre la escorrenría y erosión de dos suelos aledaños a Salinas, SLP", *Memorias del XVII Congreso nacional de la Ciencia del Suelo* (Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, México, 1984) p 72.
- Viramontes Pereida, D y J Rufz Valdés, "Escurrimiento y erosión hídrica en el desierto Chihuahuense (Reserva de la Biósfera de Mapimi, Dgo)", *Memorias del XXI Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo* (Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, México, 1988) p 258.

### Informes

- Almaguer Sierra, P, H Cuanálo de la C, MA Chapa Martínez, F J Juárez Rodríguez, JL Torres Garza, B Domínguez Méndez, R Hernández Carreón y JA Franco, "Evaluación integral de

la erosión en Tamauilipas; clasificación y métodos de conservación", *Informe de la Universidad Autónoma de Tamauilipas* (Universidad Autónoma de Tamauilipas, México, 1984) pp 260-268.

- Almaguer Sierra, P, H Cuanálo de la C, MA Chapa Martínez, F J Juárez Rodríguez, JL Torres Garza, B Domínguez Méndez, R Hernández Carreón y JA Franco, "Evaluación integral de la erosión en Tamauilipas", *Informe de la Universidad Autónoma de Tamauilipas* (Universidad Autónoma de Tamauilipas, México, 1985) pp 68-77.

Estrada B, J y SCA Ortiz, *Identificación y cartografía de áreas erosionadas usando imágenes de satélites (Ers-1/MSS)* (Avances de la investigación ciclo 1976-77. Colegio de Posgraduados, Chapingo, México, 1978).

### ABSTRACT

Soil erosion is an important cause of environmental deterioration and one of the most serious limiting factors in today's agriculture. International experts consider that Mexico is among the Latin-American countries with the worst soil erosion problems. Several authors have agreed that more than 75% of the country shows accelerated erosion. The scarce literature on soil erosion in Mexico is a clear evidence of the understimation of the real problem. The present paper analyses the available literature on this topic, in order to evaluate the stage of knowledge, tendencies and characteristics of the soil erosion research in Mexico.

### CAPITULO III

#### CONSIDERACIONES A LAS PRACTICAS DE CONSERVACION DE SUELOS EN ZONAS TROPICALES

Revista de Difusión Científica, Tecnológica  
y Humanística 1 (2): 11-18.

# Consideraciones a las prácticas de conservación de suelos en zonas tropicales\*

F. García-Oliva\*\*  
J. M. Maass M.\*\*

## Introducción

**U**no de los principales factores que influyen en el deterioro de los ecosistemas es la erosión de sus suelos. La erosión es un grupo de procesos por los cuales las partículas del suelo son removidas de su lugar por agentes tales como el agua y el viento, (Larson *et al.* 1983).

Las principales consecuencias de la erosión se pueden agrupar en degradación de suelo y degradación ambiental.

### *La degradación del suelo trae consigo:*

- Pérdida de sustrato, lo cual no solamente implica la remoción del sostén físico de los cultivos, sino además representa una pérdida en el almacén de nutrientes minerales del ecosistema.

- Alteración de las características físicas del suelo, tales como la capacidad de infiltración del agua. En suelos muy degradados por la erosión, se ha visto que la infiltración se reduce hasta en un 93% (Lal, 1976b).

- Reducción de la cantidad de agua disponible en el suelo, que afecta severamente a los cultivos en casi todas sus etapas de crecimiento. El déficit hídrico reduce la productividad de las plantas, la producción de sus semillas y la germinación de las mismas (Jordan, 1983).

- Pérdida de nutrientes y materia orgánica que se traduce en una disminución en la fertilidad del suelo (Pimentel *et al.*, 1987). La pérdida de la materia orgánica afecta 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.

### *La degradación ambiental trae consigo:*

- Azolves y contaminación de lagos y presas, reduciendo la capacidad de almacenamiento de agua y generación de energía eléctrica. Por ejemplo, en México se ha cal-

culado que anualmente se depositan 113.1 millones de toneladas de sedimentos en las obras de infraestructura hidráulica (Martínez-Menez y Fernández, 1983).

- Modificaciones del ciclo hídrico, reduciendo el manto freático y aumentando los volúmenes de escurrimiento superficial, lo que incrementa el riesgo de inundaciones (Duane y Leopold, 1978).

- Contaminación de la capa superficial del suelo por depósito de sedimentos no fértiles (Boardman y Robinson, 1985).

Dado lo anterior no es de extrañar que la erosión es uno de los problemas ambientales más importantes a nivel mundial. Los niveles de erosión son sorpresivamente altos: se estima que el 35% de la superficie mundial está afectada por

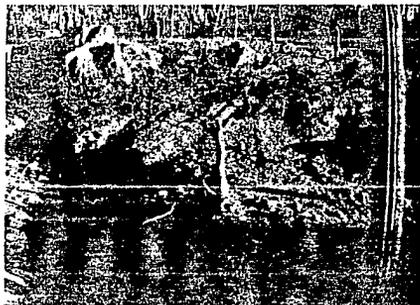


Foto Felipe García Oliva

Las principales consecuencias de la erosión es la degradación del suelo y ambiental.

\* Trabajo presentado en el I Simposio Internacional sobre Experiencias de Manejo del Trópico Húmedo, Chiapas.

\*\* Centro de Ecología, UNAM (Octubre de 1990).

algún grado de erosión (Mabbut, 1984, citado por Pimentel *et al.*, 1987) Walling (1987) estima que  $15 \times 10^9$  toneladas de suelo al año van a dar al mar. Buring (1981, citado por Lal, 1987) menciona que existe una tasa anual de pérdida de tierras agrícolas de 3 millones de hectáreas debido a la erosión.

El nivel del deterioro ambiental causado por la erosión se comprende mejor si tomamos en cuenta que el suelo es un recurso no renovable, debido a la baja velocidad de formación del mismo. En zonas, tropicales la tasa de formación promedio de suelo es de  $0.3t \text{ ha}^{-1}, \text{ año}^{-1}$  mientras que la tasa de pérdida puede variar desde 10 hasta  $100t \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  (Pimentel, *et al.*, 1987). Las regiones tropicales son de las más afectadas por la erosión a nivel mundial, entre ellas sobresalen Latinoamérica (Pimentel *et al.* 1987) México también presenta problemas serios de erosión. En una revisión de los estudios realizados en el país, Maass y García-Oliva (1990a) encontraron que los especialistas concuerdan que cerca del 70 % del territorio nacional presenta erosión avanzada.

#### Causas de la erosión de suelos en zonas tropicales

Existen tres causas por las cuales las zonas tropicales presentan valores tan altos de pérdida de suelo: a) las características de los ecosistemas tropicales, b) el tipo de manejo actual bajo el cual están sujetas y c) factores socioeconómicos.

Los ecosistemas tropicales son muy susceptibles de ser erosionados y altamente vulnerables a las consecuencias de la pérdida de suelo, por lo que su recuperación es muy difícil (Maass y García-Oliva, 1990a).

En los trópicos y subtropicos se transforman 9.2 millones de hectáreas anuales de selvas (FAO, 1981). Las causas de esta deforestación son principalmente: históricas (agricultura tradicional, utilización de leña), económicas (agricultura y poblaciones) (Lal, 1987). En la actualidad las causas más importantes son estas últimas.

En América tropical es común la transformación de selvas a pastizales inducidos para ganadería extensiva. En particular en México, Toledo (1990) menciona que en los últimos 40 años la deforestación en el país, debido a la expansión ganadera, abarca de 1 a 2 millones de hectáreas anuales. El mismo autor concluye que esta tendencia es consecuencia de la política agropecuaria de ganaderización, lo que ha ocasionado un crecimiento anual acumulativo de 2.9% de la superficie ganadera, que pasó de 38.8 millones de hectáreas en 1940 a más de 100 millones de hectáreas en 1983.

En el trópico, los factores socioeconómicos son también importantes para entender las altas tasas de erosión de sus suelos. La mayoría de los países del tercer mundo se localizan en esta región, y son estos los que tienen las mayores densidades y tasas de crecimiento poblacional. Por ejemplo, Latinoamérica tienen una tasa promedio de crecimiento de



Foto J. M. Maas M.

El cultivo múltiple es un sistema que mantiene una cobertura continua del suelo, reduciendo de esta manera la erosión.

2.4% (FAO, 1983). Este crecimiento aunado al sistema productivo dominante, ha generado una alta presión de uso sobre los recursos naturales. Barney (1979) menciona que en el trópico, las tierras cultivables disminuyeron de 0.39 a 0.32 ha/individuo en 10 años y estima que para el año 2000 quedará sólo 0.25 ha/individuo.

Con la falta de buena tierra de cultivo se ha intensificado el uso de las tierras marginales. Estas tienen problemas de erosión y grandes limitantes económicas (Pimentel *et al.*, 1987). La perspectiva de la agricultura del tercer mundo es distinta a la de los países desarrollados, ya que en las áreas de subsistencia existen dificultades para adquirir insumos de producción (Blaike, 1985; Hall *et al.*, 1989).

México también comparte estos problemas con Latinoamérica. Su tasa de crecimiento medio anual de población es de 3.2% (1970-1980). El país ha superado su límite de superficie potencialmente agrícola, estimado alrededor de 300 millones de hectáreas (Toledo *et al.* 1989). En la actualidad, el uso de las tierras marginales del trópico mexicano se han visto intensificado. Es hasta las dos últimas décadas que se ha usado al trópico, principalmente el trópico húmedo, para aliviar los problemas de producción de alimentos y de tenencia de la tierra, lo que ha acelerado el proceso de ganaderización antes mencionado (Toledo *et al.*, 1989). A pesar que el trópico mexicano ocupa casi una cuarta parte de la superficie del territorio nacional, tiene una alta concentración de población, y gran parte de ella corresponde a grupos marginados no integrados a la economía nacional (contiene el 44.5% de la población indígena nacional. (Tabla 1).

Es debido a todo lo anterior, que los valores más altos de erosión se presentan en el trópico. Utilizando la carga de los sedimentos de los principales ríos del país, Martínez-Menez

y Fernández (1983) encontraron que la zona más afectada por la erosión es el trópico subhúmedo con un carga de sedimentos de  $16t\ ha^{-1}\ año^{-1}$ , siendo superior al promedio nacional ( $2t\ ha^{-1}\ año^{-1}$ ), destacando Chiapas, Guerrero y Oaxaca como los estados más erosionados. Por otro lado, de los datos reportados en parcelas de escurrimiento, Maass *et al.* (1988) encontraron pérdidas hasta de  $130t\ ha^{-1}\ año^{-1}$  en cultivos de maíz en el trópico subhúmedo de la costa de Jalisco.

A pesar de lo serio del problema en esta región, existen muy pocos trabajos sobre erosión hídrica en zonas tropicales del país. En el trópico subhúmedo y trópico húmedo sólo se han reportado 8 y 6 trabajos respectivamente (Maass y García-Oliva, 1990b).

Actualmente no se ha desarrollado tecnología eficiente para recuperar tierras sumamente erosionadas (Nickling, 1988). Considerando los datos de pérdida de suelo y la problemática socioeconómica del trópico, la recuperación de tierras erosionadas es poco viable, por lo que es importante promover la aplicación de técnicas de conservación acordes con las condiciones de esta región. Es decir, es mejor pensar en técnicas preventivas que correctivas.

Los trabajos reportados sobre prácticas de conservación de suelos en México son escasos (Maass y García-Oliva, 1990b). En el presente trabajo se hace un análisis sobre las prácticas de conservación que consideramos viables en el trópico mexicano.

#### Prácticas de conservación de suelos

Generalmente se han considerado sólo a las terrazas como práctica de conservación, pero existen otras alternativas que pueden estar más acordes a las condiciones de cada una de las regiones. Las prácticas de control de erosión las podemos agrupar en cuatro tipos: A) aquellas orientadas a reducir la fuerza erosiva de la lluvia por medio del mantenimiento de una cobertura máxima del suelo, B) aquellas que



Foto Felipe García Oliva.  
Erosión en los altos de Chiapas

reducen la fuerza erosiva del escurrimiento cambiando las características de la pendiente y la superficie del terreno, C) aquellas orientadas a favorecer las características del suelo reduciendo su susceptibilidad a ser erosionado (erodibilidad) y D) aquellas orientadas al manejo y utilización de sedimentos erosionados.

#### A) Prácticas que reducen la erosividad de la lluvia.

##### 1) Coberturas vegetales vivas.

Las coberturas vegetales vivas no solamente reducen la erosión al disminuir la energía cinética de las gotas de lluvias, sino que además su sistema radicular incrementa la porosidad del suelo, le dá estabilidad a los conglomerados del mismo e incorpora materia orgánica (Peterson, 1964) Existen principalmente dos maneras de mantener coberturas vegetales vivas, mediante cultivos mixtos y a través del manejo agroforestal.

Los cultivos mixtos, reducen considerablemente la erosión con respecto a los monocultivos (Tabla 2). Esto se debe al incremento en la densidad y la duración de la cobertura,

Tabla 1

ZONA	SUP.	P. T.	PEA	P. A. P.	P. L.
TROPICO HUMEDO	9%	9.2%	9.3%	16.0%	25.2%
TROPICO SECO	15%	22.0%	21.0%	22.2%	19.3%
TROPICO (Total)	24%	31.2%	30.3%	38.2%	44.5%

Comparación entre el trópico seco y húmedo para varios parámetros demográficos. Los valores representan el porcentaje con respecto al nacional (IX Censo Nacional de Población 1980). SUP: Superficie, P. T.: Población Total, PEA: Población Económicamente Activa, P. A. P.: PEA dedicada a actividades primarias y P.L.: Población Indígena (Toledo *et al.* 1989).

combinando plantas de crecimiento rápido con plantas de crecimiento lento (Posner, 1982). Aina *et al.* (1979) reportaron una reducción de la pérdida de suelo en un 50% (de 221 a 137 t ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>) cuando la cassava fue cultivada con maíz. Los cultivos mixtos, generalmente son cosechados en tiempos distintos asegurando de esta manera una cobertura más duradera. La utilización del tipo de cultivo dependerá de las restricciones ambientales, que en zonas tropicales pueden ser muy importantes.

El manejo agroforestal se refiere a la combinación de cultivos de arbustos y árboles perennes con cultivos anuales. Esta combinación ofrece una cobertura vegetal viva adicional y una cobertura vegetal muerta (acolchado) por la hojarasca producida por las plantas perennes. De esta manera se reduce la escorrentía y la erosión (Lal, 1987). En la tabla

dad reduciendo las temperaturas superficiales del suelo (Kemper y Derpsch, 1981; Lal, 1987). Asimismo, es una fuente importante de nutrientes. Holt (1979) ha mostrado que el 43% del nitrógeno, 41% del fósforo y 78% de potasio que contiene una planta madura de maíz (incluyendo los granos) está en los residuos. Estos nutrientes se pierden del sistema si estos residuos son retirados de la parcela.

### 3) Coberturas artificiales.

Las coberturas artificiales como superficies de plásticos, han sido utilizadas con éxito en zonas templadas, pero tienen el inconveniente de que su costo es comunmente alto. Debido a esto su utilización en zonas marginales no representan una alternativa.

Tabla 2

Práctica	Maíz	Maíz-Frijol
Labranza Tradicional	4.70	3.33
No Labranza	2.45	3.10
Acolchado (3 t ha <sup>-1</sup> )	1.96	1.42
Acolchado (6 t ha <sup>-1</sup> )	0.86	0.82
Pérdida de suelo (t ha <sup>-1</sup> ) bajo distintos cultivos y prácticas agrícolas. Referencia: Trujillo, 1977.		

3B) se presentan datos reportados por Lal (1987) para un monocultivo de sorgo y un cultivo combinado de sorgo-leguminosa (género *Leucaena*) reduciendo la pérdida de suelo hasta en dos órdenes de magnitud. Además de la reducción de la pérdida de suelo y agua, las condiciones de los ciclos de energía, agua y nutrientes pueden ser más parecidos a los del ecosistema natural. Si se utilizan especies autóctonas, sirven como reservorios de germoplasma, que pueden ser determinantes en la recuperación de las comunidades tropicales.

### 2) Coberturas vegetales muertas (Acolchados).

El acolchado reduce la pérdida de suelo y agua, protegiendo al terreno del impacto de la gota de lluvia, incrementando la tasa de infiltración, le da estructura y porosidad al suelo, reduce la velocidad de la escorrentía debido a la resistencia que le ofrece y favorece la actividad biológica del mismo (Lal 1987, Cogo *et al.* 1984). En la tabla 3C se representan algunos trabajos en zonas tropicales, en donde se ve que el acolchado reduce considerablemente la erosión del suelo. Existe una relación directa entre la cantidad del acolchado y la reducción de la erosión (Tabla 2).

También se ha visto que el acolchado conserva la hume-

### B) Prácticas que reducen la erosividad de la escorrentía.

#### 1) Labranza.

Dependiendo de las características del suelo, la labranza puede no favorecer a la erosión. En suelos compactados y mal drenados es necesario realizar labranza para favorecer la infiltración y reducir la erosión (Lal, 1987). Algunas labranzas se acompañan con el incremento en la rugosidad de la superficie del terreno, que puede resultar en la disminución de la pérdida del suelo. Ngatunga *et al.* (1984) reportaron una reducción del 73% en las pérdidas en parcelas con labranza comparadas con parcelas sin ella.

En terrenos bien drenados y con buena estructura la labranza favorece a la erosión (Lal, 1987). En la actualidad, la agricultura de no-labranza es ampliamente utilizada, ya que favorece a las condiciones ecológicas del suelo y reduce mucho sus pérdidas (House y Brust, 1989, ver Tabla 3A).

#### 2) Cercas vivas en contorno.

La utilización de algunas especies vegetales que son sembradas siguiendo las curvas de nivel favorecen la infiltración, al disminuir la velocidad del escurrimiento y detener los

sedimentos producidos ladera arriba. La utilización de estas cercas vivas es una práctica que se ha usado desde la época prehispánica y aún es muy utilizada por los campesinos en el centro del país (Wilken, 1987). Las principales especies que son utilizadas son magueyes (*Agave spp.*) y nopales (*Opuntia spp.*), recibiendo el nombre de semiterrazas (West, 1968).

La versión moderna de las semiterrazas en el trópico es el uso de fajas de pastos en la parte inferior de la parcela. Maass *et al.* (1988) encontraron que al utilizar una faja de pasto de 3 metros, la erosión se redujo a la mitad. Roose y Bertrand (1971) encontraron un orden de magnitud menor de erosión con la faja de pasto de 2 metros (Tabla 3D).

Uno de los esfuerzos más importantes en la investigación de conservación de suelos en el trópico, ha sido encaminado a encontrar una especie de pasto que tenga una buena cobertura, que soporte un rango amplio de condiciones ambientales, que sea consumido por el ganado, con alto valor nutricional y que no se convierta en una maleza. Sin embargo, no se considera su eficiencia e impacto ambiental.

### 3) Terrazas.

El objetivo de las terrazas es reducir al mínimo el gradiente de la pendiente, con lo que se ve disminuida la erosividad del escurrimiento superficial. Las terrazas han sido utilizadas en todo el mundo durante siglos. En Mesoamérica se conocen desde tiempos Prehispánicos (Donkin, 1979).

La eficiencia de esta práctica para el control de erosión ya ha sido reportada (Tabla 3E). Existen varios tipos de terrazas que dependen del grado en que modifican la pendiente original. Mientras más reduzcan la inclinación (terrazas de banco), aumenta su eficiencia en la conservación del suelo. Sin embargo, hay que tomar en cuenta el costo económico de su construcción y mantenimiento, por lo que esta sólo será redituable cuando el valor de producción lo justifique (Donkin, 1979, Sanders *et al.*, 1979). Existe la idea de que la utilización de terrazas permite la intensificación del uso de la tierra, por lo que es buena alternativa a las altas presiones demográficas (West, 1968, García-Cook, 1986). No obstante si a las terrazas no se les asocian otros insumos que permitan aumentar la productividad (tales como riego,

Tabla 3

País	Testigo	Prácticas de conservación	Cita
<b>A) No Labranza:</b>			
Paraná, Brasil	4.06	0.47	1
Ibadan, Nigeria	5.50	0.13	2
Ibadan, Nigeria	3.71	0.03	3
<b>B) Agroforestal:</b>			
Ibadan, Nigeria	3.71	0.01	3
<b>C) Acolchado:</b>			
Zanzibar, Tanzania	5.50	0.20	4
Tanga, Tanzania	88.20	0.18	5
Chamela, México	40.00	5.80	6
Ibadan, Nigeria	14.70	0.20	7
<b>D) Fajas de Pasto:</b>			
Chamela, México	40.00	20.0	6
Bouake, C. M.	10.60	1.2	8
<b>E) Terrazas:</b>			
Texcoco, México	0.40	0.29	9
Paraná, Brasil	700.00	100.00	10

Pérdida de suelos ( $t\ ha^{-1}$ ) en testigos (cultivos sin práctica de conservación) y bajo diferentes prácticas. Referencias: 1: Sidaras *et al.* 1982, 2: Lal 1984, 3: Lal 1987, 4: Khatibu *et al.* 1984, 5: Ngatunga *et al.* 1984, 6: Maass *et al.* 1988, 7: Lal 1976a, 8: Roose y Bertrand 1971, 9: Trueba *et al.* 1979, 10: Kemper y Derpsch 1981.

fertilizantes, etc.) por sí solas no la aumentan. Es por esto, que las terrazas de este tipo no son una alternativas en agricultura de subsistencia.

Existen otros tipos de terrazas que son más sencillas y más baratas, como el caso de semiterrazas y su combinación con manejos agroforestales, que pueden funcionar como una alternativa viable en las zonas tropicales.

### C) Prácticas que favorecen las características del suelo.

#### 1) Acondicionadores.

Gabriels *et al.* (1979) revisaron la posibilidad de utilizar acondicionadores del suelo (tales como Poliuretano, Poliacrilamida, Acetato de polivinilo, latex y asfalto) para control de la erosión en suelos tropicales. Experimentos de laboratorio y campo en Asia tropical demuestran que las superficies del suelo empiezan a ser más estables y se mejoran sus características físicas cuando son usados estos materiales. Sin embargo, su eficiencia en el control de la erosión es menor que los acolchados. También hay que considerar que el costo de estos materiales son elevados, por lo que su aplicación en zonas tropicales es poco viable.

#### 2) Tiempo de Descanso

El tiempo de descanso de la tierra, es una práctica muy utilizada por grupos indígenas en América tropical (agricultura de roza-tumba-quema). Las ventajas que presentan es la reducción de la pérdida de suelo a largo plazo y que permite la recuperación de su fertilidad por procesos naturales. La disminución de la erosión es indirecta, ya que el descanso evita que se alcance los niveles irreversibles de la pérdida de suelo. Por ejemplo, en Filipinas Kellman (1969) encontró que las tasas de erosión eran de 1.4 g día<sup>-1</sup> en el primer año y de 119.31 g día<sup>-1</sup> a los 12 años de uso. En la India, Mishra y Ramakrishan (1983) encontraron que la erosión se incrementaba cuando se reducía el tiempo de descanso de 10 a 5 años. Cuando los tiempos de descanso son muy cortos, ni siquiera las terrazas detienen la pérdida de suelo.

La agricultura de roza-tumba-quema es una alternativa de conservación de suelos en zonas tropicales, al cultivar sólo pequeñas porciones de terreno con largos periodos de descanso (Hudson, 1981). Sin embargo, esto ya no es posible por las presiones demográficas (Russell, 1979, Okigbo, 1979).

En México no existen trabajos reportados sobre la relación del tiempo de uso y el tiempo de descanso con la erosión del suelo.

#### D) Manejo de Sedimentos erosionados.

En México existe una tradición muy importante de manejo de sedimentos en la agricultura de ladera, en donde el enfoque se basa en el aprovechamiento de los sedimentos y no tanto en evitar a la erosión (Bocco, 1990).

Con este enfoque, el objetivo principal es utilizar técnicas que permiten captar y utilizar los sedimentos ladera abajo. Estas técnicas han sido reportadas en la zona Zapoteca en Oaxaca (Kirkby, 1972) y la zona Mazahua en el Estado de México (Bocco, 1990). En este último trabajo, Bocco reporta que con la utilización de técnicas tradicionales se recuperaron tierras muy degradadas con afloramientos de tepetates.

Donkin (1979) menciona que con la utilización de terrazas cruzadas en los arroyos, los agricultores obtienen tierras muy fértiles para el cultivo. De esta manera generan un sistema agrícola con recuperación de fertilidad (por sedimentos) y con humedad disponible, que superan las condiciones de las parcelas en las laderas. Este tipo de terrazas cruzadas se dá principalmente en zona con un patrón de lluvias estacional.

Por desgracia, existe muy poca información de técnicas tradicionales de manejo y conservación de tierras de ladera (Para mayor información ver a Wilken 1987).



Foto J. M. Maas M.

Los sistemas agroforestales han mostrado ser una excelente estrategia de conservación en zonas tropicales con pendiente marcada.

Como se mencionó antes, en el trópico mexicano se concentran un porcentaje importante de los grupos indígenas (Tabla 1), que probablemente han acumulado un conocimiento importante de manejo y conservación de las tierras de ladera en cada una de sus regiones. Pocos trabajos toman en cuenta el conocimiento local derivado de la experiencia rural empírica del campesino, y lo incorporan en el diseño de prácticas de conservación (Hudson, 1988). Existen trabajos que reconocen la importancia de la percepción del problema de erosión por grupos campesinos (Whyte, 1977; Hudson, 1988), pero en México no han sido integrados en las políticas gubernamentales de conservación de suelos (Bocco y García-Oliva, 1990).

#### Discusión

Podemos considerar que existen principalmente dos enfoques con respecto a las prácticas de conservación de suelos: en uno donde se proponen métodos que reducen

directamente la pérdida de suelo sin modificar el esquema de producción agropecuaria y otro en donde se propone una nueva alternativa de manejo de tierras, que incluye conservación de suelos.

Dentro del primero tenemos a las prácticas más caras, por ejemplo: las coberturas artificiales, los acondicionadores del suelo, terrazas y cultivos mixtos. Tomando en cuenta las características ecológicas y socioeconómicas del Trópico son las alternativas menos viables.

En el segundo, tenemos un gradiente de transformación del sistema de producción. Este gradiente incluye la propuesta de utilización de cereas vivas de contorno, en donde una parte de la superficie cultivada no es productiva (fajas de pastos), la práctica de bajos insumos y no labranza (incluyendo los acolchados) que rompen los esquemas de máxima producción por superficie agrícola de la revolución verde; las prácticas que incluyen manejo agroforestal, tiempo de descanso y manejo de sedimentos. Son las de este segundo grupo las que pueden representar una alternativa de manejo en el trópico. Sin embargo, hay que tomar en cuenta que no siempre es fácil cambiar los esquemas de producción agropecuarias, porque obedecen a políticas económicas nacionales o inclusive internacionales.

La utilización de fajas de pasto y agricultura de no labranza, adquieren importancia cuando los cultivos son anuales. Por los datos reportados (Tabla 3) y por las ventajas ecológicas asociadas a estas prácticas, la agricultura de no labranza (incluyendo los acolchados) es una buena alternativa. Como ya se mencionó con anterioridad, la transformación más importante de las selvas tropicales mexicanas en su conversión a praderas, sobre todo en las tierras marginales. En general la cobertura generada por los pastos protege eficientemente al suelo de la erosión. Sin embargo, aún cuando existe un buen manejo, hay condiciones que pueden favorecer la erosión con el tiempo de uso (i.e. la compactación del suelo por efecto del pisoteo del ganado). En estos sistemas, adquiere importancia los tiempos de descanso y los manejos agroforestales que sólo son posibles bajo nuevos esquemas de producción. El tiempo de descanso implica que exista cierta recuperación del ecosistema natural, la cual no solo depende de las condiciones edáficas, sino también de factores bióticos. En la actualidad se ha reconocido la importancia que tienen los parches remanentes de la selva en la sucesión secundaria durante el tiempo de descanso (Guevara *et al.*, 1986). Esto muestra la necesidad de incorporar manejos agroforestales con los pastizales inducidos. Para poder mantener una pradera con tasas de erosión tolerables, es necesario que tenga tiempo de descanso apropiados. Desafortunadamente, no existe estudios que evalúen la pérdida del suelo en praderas con diferentes edades de uso.

## Conclusiones

La importación de prácticas de conservación de suelos elaborados en otros ambientes pueden resultar un fracaso,

si no se consideran las condiciones ecológicas y socioeconómicas de las zonas tropicales. Para establecer estrategias adecuadas de conservación de suelos es necesario considerar estas dentro del sistema agropecuario de producción de la zona.

En zonas tropicales con cultivos anuales, la práctica de cultivo mixto, la no-labranza y los acolchados pueden resultar buenas alternativas. En zonas con pastos inducidos, la combinación de manejo agroforestal con el tiempo de descanso apropiados pueden ser una buena alternativa, siempre y cuando se evite el sobrepastoreo. Es necesario realizar investigación sobre este tema.

Es importante recuperar el conocimiento tradicional de la agricultura de ladera y evaluar su potencial actual de conservación.

## Agradecimientos

El presente documento es una aportación del proyecto de ecosistemas del centro de Ecología, UNAM, el cual ha recibido apoyo por parte del mismo Centro, del Instituto de Biología, UNAM, y de CONACYT.

## Bibliografía

- Aña, P.O., Lal, R. y Taylor, G.S. 1979 "Effects of vegetal cover on soil erosion on an Alfisol". En: R. Lal y D. J. Greenland (eds.) *Soil physical properties y crop production in the tropics*. John Willeys & Sons: 501-507.
- Barney, G.O. 1979 *The global 2000 report to the United States Pergamon Press*, New York, vol. 1-10.
- Blaikie, P. 1985 *The political economy of soil erosion in developing countries*. Longman. London. 188 pp.
- Boardman, J. y Robinson, D. A. 1985 "Soil erosion, climatic vagary and agriculture change on the Downs around Lewes and Brighton, Autumn 1982" *Applied Geography* 5 : 243-258.
- Bocco, G. 1990 *Gully erosion analysis using remote sensing and geography information system - A case study in Central Mexico*. PhD Thesis. ITC, Netherlands. 130 pp.
- Bocco, G. y García - Oliva, F. 1990 "Some guidelines for soil erosion studies in México. An academic (still practical) approach" enviado a *J. Soil & Water Conservation*.
- Cogo, N.P., Modenhauer, W.C., y Foster, G.R. 1984 "Soil loss reduction from conservation tillage practices" *SoilSci. Soc.Am. J.* 48: 368- 373.
- Dunne, T. y Leopold, L. B. 1978 *Water environmental planning*. Freeman & Co. 587 pp.
- FAO 1981 *Production year book* FAO, Rome.
- Donkin, R.A., 1979 *Agriculture terracing in the aboriginal New World* Viking Fund Publication in Anthropology. The University of Arizona Press. 196 pp.
- Gabriels, D., Maene, L. Levain, J. and De Boot, M. 1979 "Possibilities of using soil conditioners for soil erosion control" In: D. J. Greenland and R. Lal (eds.) *Soil conservation and management in the humid tropics*. John Wiley & Sons: 99-108.

Gracia-Cook, A. 1986 "El control de la erosión en Tlaxcala: época Prehispanica" *Antropología* 10: 14-20

Guevara, S., Purata, S.E. and VanderMazel, E. 1986 "The role of remnant forest trees in tropical secondary succession" *Vegetatio* 66: 77-84.

Holt, R. F. 1979 "Cropresidue, soil erosion, and plant nutrient relationships". *J. Soil & Water Conservation*. Mar - Apr.: 96-98.

House, G. J. y Brust, G. E. 1989 "Ecology of low-input, no tillage agroecosystems" *Agriculture Ecosystem & Environment* 27:331-345.

Hudson, N. W. 1981 "A research project in Hydrology and soil erosion in Mountain watersheds in Sri-Lanka" In: R. Lal and E.W. Russell (Eds.) *Tropical agricultural hydrology*. John Wiley & Sons.: 311- 321.

- 1988 "Tilling at windmills of fighting real battles" In: W.C. Muldenhauer and N.W. Hudson (eds.) *Conservation farming on steep lands SWCS Ankeby*. 296 pp.

Jordan, W. R. 1983 "Whole plant response to water deficits: an overview" In: H.M. Taylor, W. R. Jordan and T. R. Sinclair ( eds.) *Limitation to efficient water use in crop production* American Society of Agronomy , Crop Science Society of America , and Soil Science Society of America, Madison: 289-317.

Kellman, M. C. 1969 "Some environmental components of shifting cultivation in upland Mindanao" *J. Trop. Geog.* 28: 40-56.

Kemper, B. y Derpsch, R. 1981 "Results of studies made in 1978 and 1979 to control erosion by cover crop and no-tillage techniques in Parana, Brasil" *Soil and Till. Res.* 1: 253-267.

Khatibu, A.I. Lal, R., y Jana , R. K. 1984 "Effects of tillage methods and mulching on erosion and physical properties of a sandy clay loam in an Equatorial warm humid region" *Fields Crop Res.* 8: 239-254.

Kirkby, M. J. 1972 *The physical environment of the Nochatlan valley, Oaxaca*. Vanderbilt University publications in Anthropology 2. Nashville Tenn.

Lal, R. 1976 a " Soil erosion on Alfisols in Western Nigeria. I. Effects of slope, crop rotation and residue management" *Geoderma* 16: 363-375.

- 1976b *Soil erosion problems on an Alfisol in Western Nigeria and their control*. IITA Monograph No. 1, October.

- 1979 "Soil- conserving versus soil-degrading crop and soil management for erosion control" In: D. J. Greenland and R. - - Soil conservation and management in the humid tropics. John Wiley & Sons: 81-86.

- 1984 "Mechanized tillage systems effects on soil erosion from an Alfisol in watershed cropped to maize" *Soil Till. Res.* 4: 349-360.

- 1987 *Tropical ecology and physical edaphology*. John Wiley and Sons. 732 pp.

Larson, W. E., Pierce, J. and Dowdy, R.H. 1983 "The threat of soil erosion to long-term crop production" *Science*, 219: 458-465.

Maass, J. M. , Jordan, C. F. and Sarukhan, J. 1988 "Soil erosion and nutrient losses in seasonal tropical agroecosystem under various management techniques" *J. Appl. Ecol.* 25 : 595-607.

- y Garia Oliva 1990a "La conservación de los suelos en zonas tropicales: el caso de México" *Ciencia y Desarrollo* 15 (90) : 21-36.

- 1990b "La investigación sobre erosión de suelos en México: un análisis de la literatura existente" *Ciencia* 41(3), 209-228.

Martinez-Menez, M. R. y Fernández, V. J. 1983 "Jerarquización de acciones de conservación de suelos a partir de cuencas hidrográficas" *Manuscrito*, N.M.X., 12 pp.

Mishra, B. K. y Ramakrishnan, P. S. 1983 "Slash and burn agriculture at higher elevation in north-eastern India. I. Sediment, water and nutrient losses" *Agric. Ecosyst. Env.* 9: 69-82.

Ngatunga, E. L. N., Lal, R., y Uriyo, A. P. 1984 "Effect of surface management on runoff and soil erosion from plots at Mlingano, Tanzania" *Geoderma* 33: 1-12.

Nickling, W. G. 1988. "Prediction of soil loss by wind " *Proceeding 50th International Soil Conservation Conference , Bangkok, Thailandia: 75-97.*

Okigbo, B. N. 1979 "Farming systems and soil erosion in west Africa" In: D. J. Greenland & R. Lal *Soil conservation and management in the humid tropics*. John Wiley & Sons: 152-163.

Peterson, J. B. 1964 "The relation of soil fertility to soil erosion" *J. Soil & Water Conserv.* Jan -Feb: 15-19.

Pimentel, D., Allen, J., Beers, A., Guinand, L., Linder, R., McLaughlin, P., Meer, B., Salazar, R., y Hawkins, A. 1987 "World agricultural and soil erosion" *Bioscience* 37: 277-283.

Pooser, J. L. 1982, "Cropping systems and soil conservation in the hilly areas of tropical America" *Turrialba* 32 (3): 2867-299.

Roose, E. J. y Bertrand, R. 1971 "Contribution a l'étude de la methode des bandes d'arrêt pour lutter contre l'érosion hydrique en Afrique de L'ouest: Resultats experimentaux et observations sur le terrain." *L' Agronomie Tropicale* 26: 1270-1282.

Russell, E. W. 1979 "Foreword" In: D. J. Greenland y R. Lal (Eds.) *Soil conservation and management in the humid tropics*. John Wiley & Sons: 1-2.

Sanders, W. T., Parson, J. P. y Santley, R. S. 1979 *The Basin of Mexico: ecological processes in the evolution of a civilisation*, Studies in Archaeology Academic Press. 561 pp.

Sidaras, N., Henkain, J. C. and Derpsch, R. 1982 "Comparison of three different tillage systems with respect to aggregate stability. The soil and water conservation and the yield of soybean and wheat on an Oxisol" *Proceeding 9th ISTRO Conf. Osijek, Yugoslavia* : 537- 544.

Toledo, V. M., Carabias, J., Toledo, C., y González- Pacheco, C. 1989. *La producción rural en México: alternativas ecológicas*. Fundación Universo Veniuno. 402 pp.

Toledo, V. M. 1990 "El proceso de ganaderización y la destrucción biológica y ecológica de México". *En: E. Loff, Medio Ambiente y desarrollo en México*. UNAM-Porrúa: 191-228.

Trueba, A., Trueba, S. y Anya-Garduño, M. 1979 "Evaluación de la eficiencia de cuatro prácticas mecánicas para reducir las pérdidas de suelo y nutrientes por erosión hídrica, en terrenos agrícolas de temporal" *Agrociencia* 38: 89-100.

Trujillo, S. 1977 *Efecto de la cobertura vegetal en el proceso erosivo*. Tesis UACH, México.

\* Walling, D. E. 1987 "Hydrological and fluvial processes: revolution and evolution . In : Clark Gregory and Gurnell. *Horizons in physical Geography*. Mac Millan: 106-120.

West, R. C. 1968 "Population densities and agricultural practices in Pre - Columbian Mexico, with emphasis on Semi-terracing" *XXXVIII International Congress of Americanists Proceedings, Munich*, 21: 361-369.

Whyte, A. V. T. 1977 *Guidelines for field studies in environmental perception* UNESCO-MAB Technical note 5.

Wilken, G. C. 1987 *Good farmers*. University of California Press.

**CAPITULO IV**

**PATTERN OF RAINFALL DISTRIBUTION IN THE CENTRAL PACIFIC COAST OF MEXICO**

Geografiska Annaler 73 A (3-4): 179-186.

# PATTERN OF RAINFALL DISTRIBUTION IN THE CENTRAL PACIFIC COAST OF MEXICO

BY

FELIPE GARCÍA-OLIVA, EXEQUIEL EZCURRA and LEOPOLDO GALICIA.

Centro de Ecología, UNAM, Mexico

*García-Oliva F., Ezcurra, E., and Galicia, L., 1991: Pattern of rainfall distribution in the Central Pacific Coast of Mexico. Geogr. Ann. 73 A (3-4): 179-186*

**ABSTRACT.** The Central Pacific coast of Mexico can be classified into four zones, each showing different rainfall patterns. As a result of tropical cyclone influence in the Pacific coast, the level of rainfall probability differs between zones. Such influence is revealed in the total annual rainfall, in the seasonality and in the monthly rainfall pattern.

## Introduction

Both deterministic and stochastic factors may have a strong influence on ecosystem dynamics (Holling 1986). The first are phenomena that can be predicted (e.g. temperature) and the second are erratic and less predictable events (e.g. rainfall). The relative importance of these factors in ecosystem dynamics depends on their nature as limiting factors. Rainfall seasonality is the most important factor which influences the structure and dynamics of tropical dry ecosystems (Murphy and Lugo 1986). Seasonality represents a dominant ecological force when temporal biological activities, like growth and reproduction, are synchronized with water availability (Murphy and Lugo 1986; Riech and Borchert 1984; Swain *et al.* 1990; Wright and Cornejo, 1990). Other factors can also influence the phenology of tropical species (Murphy and Lugo, 1986), such as temperature (Walter 1971) and photoperiod (Medina 1983; Bullock and Solís-Magallanes, 1990).

The influence of inter-annual variation in water availability is important in the tropical dry ecosystems. When this variation is high, random events determining annual rainfall can significantly influence the structure, composition and dynamics of the ecosystem (Murphy and Lugo 1986). Regions with tropical cyclonic influence have an important random factor influencing their rainfall pattern. For this reason, it is important to know the predictability of rainfall. In this paper we analyze the rainfall patterns of the Central Pacific Coast of Mexico, and their predictability.

## Study area

The Central region of the Pacific coast of Mexico extends from the State of Nayarit to the States of Jalisco and Colima (between 22° 30'N and 18° 30'N, Fig. 1). The dominant vegetation type is tropical deciduous forest (Rzedowski 1978). The most important feature of this ecosystem is the marked rainfall seasonality (Bullock 1986). The rainfall pattern in this region is affected by two main elements: the influence of the trade winds and the influence of the Pacific cyclone. The trade winds have their origin in the anticyclone located in the eastern United State (known also as the Bermuda high pressure cell) with a ridge extending southwestward into Mexico (Mosio 1964). The trade winds explain, in part, the summer rainfalls of June and July in the area.

Tropical cyclones, however, have a crucial importance in determining the total annual precipitation (Jáuregui 1967, 1987). They occur sometimes in June and July, but mostly in August, September and October (Table 1). Since the factors determining cyclonic incidence are very erratic, the rainfall pattern in the coast becomes largely influenced by a random element (De Ita-Martínez and Barradas 1986).

The probability of cyclonic incidence along the Central Pacific coast is not uniform. Jáuregui (1987) points out that the Pacific coast has three zones with different incidence probability: the higher incidences occur between Topolobampo and Puerto Vallarta (50%), the intermediate ones between Manzanillo and Acapulco (29%), and the lower incidences between Puerto Vallarta and Manzanillo (21%). The influence of the cold California Stream explains these differences. This stream modifies the cyclonic trajectories and this effect becomes more important in September and October at 20°N by the heating of sea water at this latitude (Jáuregui 1987).

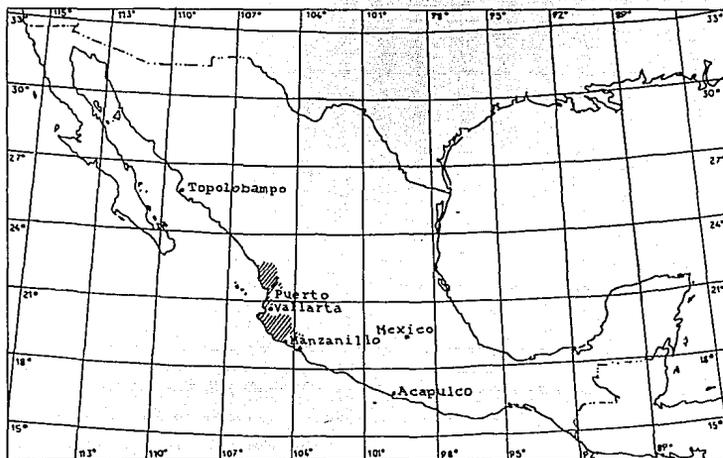


Fig. 1. Localization of the Central Pacific Coast, Mexico.

### Methods

Monthly rainfall data were obtained from 18 meteorologic stations (having records for at least 25 years) distributed along the coasts of the States of Nayarit, Jalisco and Colima. The stations were clustered into four zones: north (five stations), central (three stations), south (seven stations) and inland (three stations, Table 2). For the first three zones the stations were grouped following the cyclonic incidence zones described by Jáuregui (1987). The last zone corresponds to stations located above 1000 m of altitude. Total annual precipitation was related to latitude and altitude using regression analysis. The frequency distribution of the monthly and total series was analyzed using the gamma probability density function (Ezcurra

and Rodrigues 1986). The gamma-distribution analyses were run in a Pascal program written for IBM-PC computers and compatibles (Valiente 1988). For both series, the goodness of fit was evaluated by a G-test (Sokal and Rohlf 1981). The rainfall concentration was analyzed using the parameters of the gamma distribution for the total series after Ezcurra and Rodrigues (1986). The parameters used were the amount of rain of a typical rainy month ( $\bar{r}$ ), the rainfall concentration or the number of rainy months ( $\bar{p}$ ) and the equitability which is a relative measurement of rainfall concentration ( $\bar{E}$ ).

For the analysis of rainfall seasonality in each zone, the monthly probability value of 100 mm of rainfall was used. This limit was chosen because

Table 1. Monthly relative frequencies of cyclones occurring in the NW Mexican Pacific coast between 1953 to 1978 (Jáuregui 1987)

Months	J	J	A	S	O
Frequencies	0.11	0.10	0.21	0.38	0.19

PATTERN OF RAINFALL DISTRIBUTION IN THE CENTRAL-PACIFIC COAST OF MEXICO

Table 2. Annual rainfall, amount of rain of a typical rainy month ( $\bar{x}$ ), rainfall concentration ( $\rho$ ) and equitability ( $E$ ) for the stations of the Central Pacific coast of Mexico.

Station	Annual Rainfall	$\bar{x}$	$\rho$	$E$	Zone
Santiago (S)	1221.1	259.66	4.68	0.39	North
San Blas (SB)	1509.5	322.02	4.68	0.39	North
Puerto Vallarta (PV)	1468.0	291.15	5.04	0.42	North
Cajón Peña (CP)	1433.8	284.44	5.04	0.42	North
El Chiflón (EC)	1362.5	255.52	5.40	0.45	North
Ixtlán (I)	858.6	171.52	5.04	0.42	Inland
Mascota (Ms)	981.0	174.51	5.76	0.48	Inland
El Grullo (EG)	781.0	144.80	5.76	0.48	Inland
Higera Blanca (HB)	649.1	108.28	6.00	0.50	Central
La Huerta (LH)	1025.9	186.94	5.64	0.47	Central
Cihuatlán (Ci)	827.5	158.26	5.52	0.46	Central
Comala (Co)	922.8	204.04	5.04	0.42	South
Buena Vista (BV)	1121.6	224.07	5.16	0.43	South
Coquimatlán (Cq)	830.6	150.30	5.52	0.46	South
Manzanillo (Mz)	827.5	184.30	5.28	0.44	South
Armeria (A)	705.5	112.85	6.36	0.53	South
Tecoman (T)	705.2	122.45	6.12	0.51	South
Callejón (Ca)	873.7	161.91	5.40	0.45	South

90% of the plant species studied at the Jalisco Coast show leaf flushing after this rainfall threshold (Bullock and Solís-Magallanes 1990). The frequency of months with more than 100 mm rainfall was fitted to a logistic regression model with two factors (months and zone) using Generalized Linear Models through the GLIM (1985) package.

Results

Annual Precipitation

\*As a general rule, in the Mexican Pacific coast aridity increases with latitude. However, in this study region there was a significant positive correlation ( $P < 0.02$ ) between annual rainfall and latitude (Fig. 2). In contrast, altitude was not significantly correlated to annual rainfall ( $P = 0.71$ ).

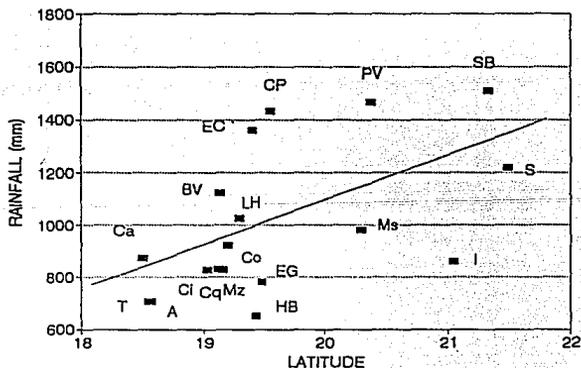
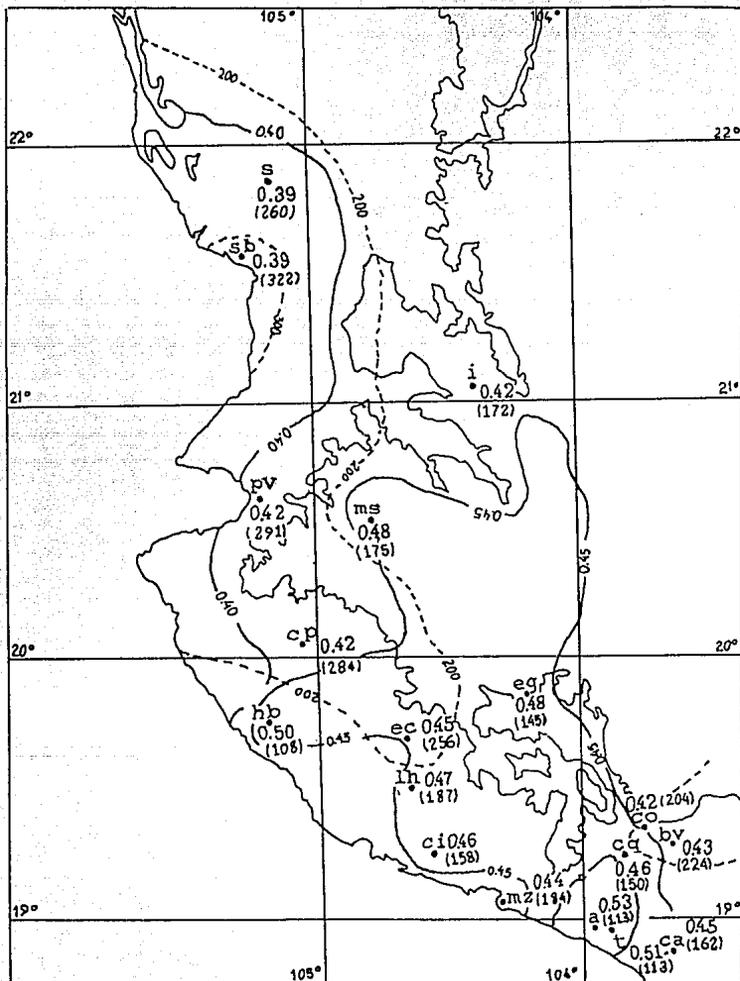


Fig. 2. Regression analysis between annual precipitation and latitude. The letters correspond to the names of stations in Table 2.



PATTERN OF RAINFALL DISTRIBUTION IN THE CENTRAL PACIFIC COAST OF MEXICO

Table 3. Significance levels for the parameters of the logistic regression model ( $R^2=0.94$ )

Source of variation	Deviance (G-value)	d.f.	P	$R^2$
Model	4436.4	215	<0.001	0.94
Zone	34.1	3	<0.001	0.01
Month	4163.5	11	<0.001	0.88
Interaction	238.8	33	<0.001	0.05
Residual	294.5	168		

Table 4. Monthly significant differences between zones using the estimates of the logistic regression model (N: north, I: inland, C: central and S: south).

Zones	Estimates	Standard Error	Significance Level
<b>June</b>			
N vs I	1.285	0.6589	0.05
N vs C	-1.549	0.6184	0.01
I vs C	-2.835	0.7002	0.01
I vs S	-1.847	0.5818	0.01
<b>July</b>			
N vs C	-4.870	1.163	0.01
N vs S	-4.187	1.102	0.01
I vs C	-4.795	1.197	0.01
I vs S	-4.112	1.138	0.01
<b>August</b>			
N vs C	-3.379	0.9321	0.01
N vs S	-3.238	0.8478	0.01
I vs C	-2.845	0.8846	0.01
I vs S	-2.704	0.7952	0.01
<b>September</b>			
N vs I	-3.388	1.188	0.01
N vs C	-3.382	1.188	0.01
N vs S	-3.733	1.106	0.01
<b>October</b>			
N vs I	-1.381	0.664	0.05
N vs S	-1.347	0.483	0.01
<b>December</b>			
N vs S	-3.159	1.149	0.01
C vs S	-3.324	1.155	0.01

**Seasonality**

Equitability ( $E$ ) values increased from north to south. In the north zone the threshold values for a typically rainy month ( $r$  values) were greater than in the south (Fig. 3). The rainfall probability of 100 mm defined five rainy months (June to October) and seven dry months (November to May; Fig. 4). The frequency of months with more than 100 mm rainfall fitted well to the logistic regression model. The three components of the model were statistically significant, with months as a statistical factor explaining 88% of the deviance (Table 3).

Every zone had a significantly different rainfall pattern. The rainfall probabilities for the central and south zones were lower than for the northern zone. However, at the end of the rainy season (November) and during the dry season, all zones showed similar rainfall probabilities (Fig. 4). Only in the rainy months (June to October) and in December, some zones were statistically different (Table 4). These differences were greater in July, August and September.

Fig. 3. Distribution of the values of equitability ( $E$ ) (—) and the amount of rain of a typical rainy month ( $r$ ) (---) at the Central Pacific coast. The letters correspond to the names of stations in Table 2, the associated numbers are the  $E$  values; the  $r$  values are in parentheses.

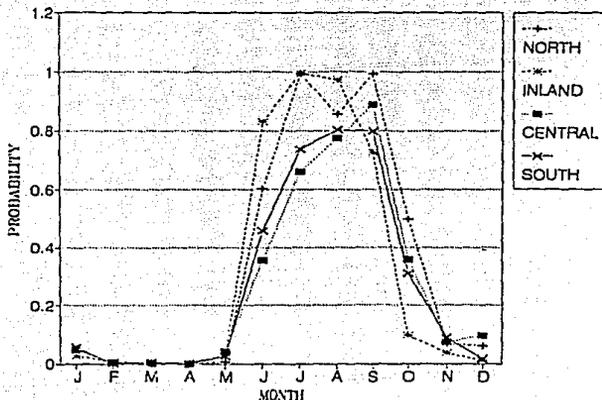


Fig. 4. Monthly 100 mm rainfall probabilities in the four zones of the Central Pacific coast of Mexico.

#### Monthly Rainfall Pattern

The region showed three kinds of monthly rainfall patterns: 1) a bimodal pattern with peaks in July and September, in the northern zone; 2) a skewed pattern where the first rainy months were the important ones (June, July and August), in the inland zone; and 3) a skewed pattern where the last rainy months, particularly September, were the important ones, in the central and southern zones (Fig. 4).

#### Discussion

Tropical cyclones are the most important element in the rainfall patterns of the Central Pacific coast of Mexico. The different probability of cyclonic incidence influences: 1) the spatial distribution of the total annual precipitation (Fig. 2), 2) the rainfall seasonality (Table 4 and Fig. 4) and 3) the monthly rainfall patterns (Fig. 4).

#### Annual precipitation

The stations of the north zone had average annual rainfall values greater than 1000 mm (Table 2). This zone has the major cyclonic influence in the region. For this reason, it seems possible that the relationship between the cold California Stream and the cyclonic trajectory is determinant in the distribution of rainfall patterns at a regional scale.

#### Seasonality

The rainfall pattern of the north zone has a higher degree of predictability than the central and south zones.  $E$  values were lower in the northern than in the central and southern zones, but in the northern zone precipitation was higher (Table 2). The same conclusion can be drawn from the rainfall concentration ( $p$ ) values. The central zone had one rainy month more than the north zone, but the rainfall probability was lower (Table 2 and Fig. 4).

#### Monthly Rainfall Pattern

The cyclones clearly influence the monthly rainfall patterns in the region. Every zone showed a distinct pattern (Fig. 4). The cyclone influence in the central and south zones occurs mainly at the end of the rainy season. For this reason, both zones had greater rainfall probabilities in winter. The incidence of cyclonic influence later in the year decreases the probability of rainfall in June at both zones. On the other hand, the importance of cyclonic rainfall decreases with distance from the coast. In the inland zone other factors such as altitude appeared to be more relevant. The importance of altitude in this zone is related to the incidence of convective winds which dominate in June. That is the reason why in the first rainy month, the inland zone had the greatest rainfall probability in the region (Table 4).

Every zone had a distinctive rainfall pattern. The north zone with a high level of predictability, the inland zone with little cyclonic influence, the south zone with a more random pattern and the central zone with a variable pattern and a high frequency of erratic events (i.e. winter rains; Table 4). These patterns have two main components: the predictability of the first rains and the general predictability of rainfall during the wet season.

The inland zone had a high level of predictability at the beginning of the rainy season (June), but it decreased as the rainy season progressed. The greater difference was between the north zone and the central and south zones. The north zone had the higher levels of predictability during the rainy season, while the other two were more influenced by random events. Under these conditions the plant species have to confront zones with different rainfall probabilities. The species in the north zone face a predictable rainfall pattern, while in the central and south zones they confront a more variable pattern. In these last two zones, rainfall variability may be an important factor limiting or determining the presence of certain species.

For this reason, the response of plant species to cope with the seasonality should be different in each zone. Where rainfall predictability is high, leaf flushing is mainly influenced by photoperiod or temperature. In zones with a random rainfall pattern growth may be triggered by a minimum rainfall threshold at the start of the rainy season. Finally, the rainfall pattern also influences the agroecosystems. There is a strong relationship between maize phenology and the rainfall pattern. The predictability levels of rainfall and the topography are the principal limiting factors of annual crops on the coast of Jalisco (De Ita-Martínez *et al.* 1991). For this reason, the rainfall pattern is considered as the main constraining factor in the land use in this region.

### Summary

1. The different probabilities of cyclonic influence affects the rainfall patterns of different zones at the Central Pacific Coast of Mexico. Cyclone influence can be detected in the amount of annual rainfall, in the degree of seasonality and in the monthly rainfall pattern.

2. The probability of cyclonic incidence is higher at the north zone. For this reason, this zone is the moistest of the Central Pacific Coast of Mexico.

3. The predictability of the seasonality is different in each zone. Seasonality in the north zone is very marked. It has higher levels of rainfall predictability during the rainy months and low frequencies of rain events in the dry months. In contrast, the central zone is more influenced by random events.

4. Every zone has a distinct monthly rainfall pattern. The rainy months differ due to varying levels of cyclonic influence. Potentially, an accurate evaluation of the predictability of the rainfall patterns is of great importance in the study of the phenology of tropical species. The influence of seasonality on plant phenology has been acknowledged, but the randomness and predictability of the seasonality has not been contemplated.

5. The rainfall pattern also affects land use; low levels of rainfall predictability determine the development of economic activities with low economic investment (i.e. extensive pasture).

### Acknowledgements

We wish to thank Angelina Martínez-Yrizar and José Manuel Maass for helpful comments on the manuscript and Alma Rosa Gutiérrez for logistical aid. This research was supported by CONACYT, Mexico.

*Felipe García-Oliva, Exequiel Ezeurra and Leopoldo Galicia. Centro de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México Apdo. Postal: 70-275 C.P. 04510 México D.F. México*

### References

- Bullock, S.H.*, 1986: Climate of Chamela, Jalisco, and trends in the south Coastal region of Mexico. *Arch. Met. Geoph. Bioc.* 36: 297-316.
- Bullock, S.H. and Salis-Magallanes A.*, 1990: Phenology of canopy trees of a tropical deciduous forest in Mexico. *Biotropica* 22: 22-35.
- De Ita-Martínez, C. and Barradas V.L.*, 1986: El clima y el patrón de distribución agrícola en una Selva Baja Caducifolia en la Costa de Jalisco, México. *Biotica* 11: 257-245.
- De Ita-Martínez, C., Sarukhán J. and Maass J.M.*, 1991: Land use patterns on a tropical deciduous forest ecosystem on the Pacific coast of Jalisco, Mexico. submitted to *Agroforestry Systems*.
- Ezeurra, E. and Rodríguez V.*, 1986: Rainfall patterns in the Gran Desierto, Sonora, Mexico. *Journal of Arid Environment* 10: 13-28.
- GLIM, 3.7*, 1985. The Royal Statistical Society, London.
- Holling, C.S.*, 1986: The resilience of terrestrial ecosystems: local surprises and global change. In: Clark W. C. and

- Munn R.E. (eds.): *Sustainable development of the Biosphere* Cambridge University Press: 291-320.
- Jáuregui, E., 1967: Las ondas del Este y los ciclones Tropicales de México. *Ingeniería Hidráulica de México* 21: 197-208.
- 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.
- Medina, E., 1983: Adaptations of tropical trees to moisture stress. In: Golley F.B. (ed.): *Tropical rain forest ecosystem: structure and function* New York. Elsevier: 225-237.
- Mosino, P.A., 1964: Tiempo superficial y configuraciones del flujo aéreo superior en México. *Geofísica Internacional* 4: 117-168.
- Murphy, P.G. and Lugo, A. E., 1986: The ecology of tropical dry forest. *Ann. Rev. Ecol. Sys.* 17: 67-88.
- Reich, P.B. and Borchert R., 1984: Water stress and tree phenology in a tropical dry forest in the lowlands of Costa Rica. *Journal of Ecology* 72: 61-74.
- Rzedowski, J., 1978: Vegetación de México. Limusa. 432 p.
- Sokal, R.R. and Rohlf, F.J., 1981: *Biometry* Freeman and company.
- Vallente, L., 1988: Programa Gamma. Centro de Ecología. UNAM. México.
- Swain, M. D., Lieberman, D. and Hall, J. B., 1990: Structure and dynamics of a tropical dry forest in Ghana. *Vegetatio* 88: 31-51.
- Walter, H., 1971: *Ecology of tropical and subtropical vegetation* New York, Van Nostrand Reinhold Co. 539 p.
- Wright, S.J. and Cornejo, F.H., 1990: Seasonal drought and leaf fall in a tropical forest. *Ecology* 71: 1165-1175.

## **CAPITULO V**

### **ANALISIS DE TORMENTAS Y EROSIVIDAD DE LA LLUVIA EN UN ECOSISTEMA TROPICAL ESTACIONAL EN CHAMELA, JALISCO, MEXICO**

# ANALISIS DE TORMENTAS Y EROSIDIDAD DE LA LLUVIA EN UN ECOSISTEMA TROPICAL ESTACIONAL EN CHAMELA, JALISCO, MEXICO.

F. GARCIA-OLIVA, L. GALICIA Y J.M. MAASS  
Centro de Ecología, UNAM.

## RESUMEN

Se presenta el análisis del patrón de lluvias por tormentas de Chamela, Jalisco. Se encontró que la mayor frecuencia de tormentas son de poca cantidad y duración. Sin embargo, el patrón de lluvias es explicado por las tormentas con mayor cantidad de precipitación. No se encontró una relación significativa entre la intensidad y la duración, pero si fue significativa con la intensidad y la cantidad. Esta relación, se debe al origen ciclónico de las principales tormentas. El mejor índice de la erosividad de la lluvia fue  $EI_{30}$ , en cambio la intensidad de lluvia la subestima.

Palabras clave: Ciclones tropicales, ecosistema tropical estacional,  $EI_{30}$ , erosividad, intensidad de la lluvia.

## INTRODUCCION

Entre los factores más importantes que determinan la estructura y dinámica de los ecosistemas tropicales secos está la estacionalidad de las lluvias (Murphy y Lugo, 1986; Bullock y Solís-Magallanes, 1990; Martínez-Yrizar y Sarukhán, 1990). La disponibilidad de agua en el ecosistema depende en gran medida de las características individuales de las tormentas, particularmente su duración, intensidad y frecuencia (El-Swaify y Dangler, 1982). Las dos primeras determinan a su vez, las características de la gota de agua, tales como su tamaño, número y velocidad terminal.

Las tormentas tropicales se caracterizan por su alta variación de ocurrencia y sus altas intensidades (Lal, 1987; Hudson, 1971; Morgan 1979). Jackson (1977) menciona que las tormentas tropicales alcanzan valores muy altos de intensidad, principalmente las de corta duración (rango entre 49 y 192  $mm\ h^{-1}$ ). Por su parte, Lal (1976) menciona que en estas zonas podemos encontrar tormentas mayores a los 200  $mm\ h^{-1}$ . De igual manera, se registran los valores más altos de erosividad de la lluvia ( $EI_{30}$  mayores a 1000  $MJ\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}$ ; El-Swaify y Dangler, 1982). Debido a lo anterior, los ecosistemas tropicales son muy susceptibles a la erosión de suelos (Maass y García-Oliva, 1990).

Posner (1982) menciona que dentro de las regiones tropicales, las zonas subhúmedas son las más susceptibles a la erosión debido a la combinación de lluvias altamente erosivas y períodos largos de sequías, que reducen la posibilidad del desarrollo de una buena cobertura vegetal que proteja al suelo. El presente trabajo tiene como objetivo hacer un análisis del

comportamiento de las tormentas y su erosividad, en un ecosistema tropical estacional de la costa de Jalisco, México.

## METODO

### A) SITIO

Chamela se localiza en la Costa del Pacífico en el Estado de Jalisco, México (19°29'N y 105°01' W). El relieve se caracteriza por la dominancia de lomeríos bajos con pendientes convexas. La inclinación de las pendientes dominantes es de 26° (50%); sin embargo frecuentemente podemos encontrar pendientes mayores a este valor. El basamento parental es principalmente de rocas cristalinas (riolitas y granitos). Los suelos son jóvenes y con estructuras poco desarrolladas (Entisoles). Las texturas dominantes son migajón arcillo-arenoso, con poco contenido de materia orgánica (<5.0%) y pH entre 6 y 7.

La precipitación media anual es de 748 mm, concentrándose en los meses de verano (Bullock, 1986). El patrón de lluvias es unimodal (septiembre), con bajo nivel de predecibilidad y presencia de eventos erráticos, debido a la influencia de los ciclones tropicales (García-Oliva et al., 1991). La temperatura media anual es de 24.9°C, las diferencia de las medias mensuales máximas es reducida (29 a 32°C) y existe una marcada estacionalidad de temperaturas medias mensuales mínimas (15 a 23°C; Bullock, 1986).

La vegetación predominante es la selva baja caducifolia, con más de 758 especies herbáceas y arbóreas en 1600 ha (Lott, 1985). Las familias más importantes son Leguminosae, Euphorbiaceae, Rubiaceae y Bignoniaceae (Lott et al., 1987).

La agricultura de ladera cubre el 85% del área ejidal, que se caracteriza por la baja mecanización y productividad. En esta zona, el maíz (Zea mays L.) es cultivado uno o dos años y luego es substituido por pasto guinea (Panicum maximum Jacq.) y pasto buffel (Cenchrus ciliaris L.) para pastura (DeIta-Martínez et al., 1991).

### B) ANALISIS DE DATOS

Los datos de precipitación se obtuvieron de la estación de Biología Chamela, UNAM, de un período de ocho años (1983-1990). Se generaron series totales de cantidad, duración e intensidad por tormentas. Las distribuciones de frecuencias fueron analizadas usando la función de probabilidad gamma (Ezcurra y Rodrigues, 1986). Los análisis de distribución gamma fueron corridos en un programa escrito en Pascal para computadoras IBM-PC y compatibles (Valiente, 1988). Para las tres series se evaluó la bondad de ajuste con la prueba de G (Sokal y Rohlf, 1981).

La relación entre la cantidad de lluvia y duración con la intensidad por tormenta, fueron analizados por medio de un modelo polinomial inverso con error gamma. Este tipo de modelos se ajustan a datos positivos y sin homogeneidad de varianza (McCullagh y Nelder, 1983).

Se realizó un análisis de componentes principales con la precipitación mensual de cada uno de los años, sin transformar los datos (no centrado y no estandarizado). También se realizó un análisis de correspondencia con las frecuencias de las tormentas mayores a 8 mm (probabilidad de ocurrencia de 50% en las series totales), en cada uno de los meses.

Para el análisis de erosividad de la lluvia, se utilizó el índice  $EI_{30}$  propuesto por Wischmeier y Smith (1958). A partir de la sumatoria anual de este índice se estimó la erosividad anual ( $R$ ). Para determinar la relación de  $EI_{30}$  con la cantidad y duración de las tormentas, se utilizó un modelo polinomial inverso con error gamma.

## RESULTADOS

### A) SERIES TOTALES

El promedio anual de la precipitación de Chamela fue de 679.2 mm para el período de estudio (1983-1990). Presentó una marcada estacionalidad, dado que el 90.2% de las tormentas y la lluvia anual se concentró entre junio y octubre y el 70% en sólo tres meses (julio, agosto y septiembre). El promedio anual de tormentas fue de 51.2 (Tabla 1), existiendo una relación positiva entre el número de tormentas y la precipitación anual ( $r = 0.81$ ,  $P = 0.01$ ).

Existe gran variación en la cantidad y duración de las tormentas, y no se puede distinguir un patrón entre años (Figura 1). Los datos de cantidad, duración e intensidad de la lluvia se ajustaron a distribuciones gamma. En la tabla 2, se presentan los parámetros de las distribuciones gamma. La intensidad de las tormentas fue la que presenta una distribución de frecuencias más simétrica.

La figura 2 muestra que la distribución de frecuencias de la cantidad de lluvia de las tormentas estuvo sesgada hacia los valores bajos: el 62% de las tormentas fueron menores de 8 mm. Sin embargo, podemos encontrar tormentas mayores a 60 mm, con una probabilidad de ocurrencia de 0.01 (Figura 2).

En la figura 3 se muestra que dominaron las tormentas de poca duración: el 57% fueron menores a 1:30 horas. Tormentas mayores a 8 horas ocurrieron, aunque con una probabilidad de 0.04 (Figura 3). El 54% de las tormentas fueron menores a 4  $mm\ h^{-1}$  (Figura 4). La intensidad de las tormentas tuvo una gran variación en el período de estudio (Figura 1).

### B) RELACION INTENSIDAD CON DURACION Y CANTIDAD

No se encontró una relación significativa entre la cantidad de lluvia y la duración de las tormentas, sugiriendo que la cantidad total de una tormenta es independiente de su duración. La duración tampoco explicó la intensidad de las tormentas. En cambio, la cantidad de lluvia sí explicó significativamente a la intensidad ( $R^2 = 0.42\%$ ,  $P < 0.001$ ; Tabla 3). El valor máximo de intensidad que se puede estimar a partir de este modelo fue de 16  $mm\ h^{-1}$  (la ordenada del modelo es de 16  $mm\ h^{-1}$ ), que presenta

probabilidad baja de ocurrencia ( $P=0.1$ , Figura 4). La precipitación estimada por el modelo fue de 200 mm, no presentándose ninguna tormenta mayor a este valor en el sitio (Figura 1). Sin embargo, existieron tormentas con intensidades mayores a  $16 \text{ mm h}^{-1}$  (Figura 1) y que están asociadas a eventos de poca duración. Es probable que la duración sea una fuente de variación importante en valores mayores a este umbral de intensidad y explique que la  $R^2$  sea baja para el modelo con cantidad.

#### C) ESTACIONALIDAD Y AÑOS HUMEDOS-SECOS

En el análisis de componentes principales de la precipitación mensual, los primeros dos componentes explicaron el 87% de la variación (77.31% y 9.7% respectivamente). En la figura 5a se muestra la ordenación de los meses con respecto a estos dos primeros componentes. Existieron 5 meses relativamente húmedos (de junio a octubre). La estacionalidad y la marcha mensual de la precipitación coincide con lo reportado en otro trabajo de la misma zona, con series de datos mayores a 25 años de registro (García-Oliva et al. 1991). El mes de septiembre fue el más húmedo, no sólo por la cantidad mensual de precipitación, sino que presenta el mayor número de tormentas (Tabla 4 y Figura 1). La ordenación de los años se muestra en la figura 5b. El componente uno representa una ordenación de años con respecto a un gradiente de cantidad de precipitación. El año de 1988 tuvo el valor más alto en el componente 1, a pesar que presentó menor precipitación anual que 1989. Esto último, coincide con los valores de escorrentía, ya que el año que presentó más escorrentía fue 1988 (Tabla 1). El segundo componente separa aquellos años de acuerdo a la importancia relativa con respecto a la precipitación anual, del inicio de la temporada de lluvias (junio, 1988) y el final (octubre, 1989, Figura 5b).

Este mismo patrón se observó utilizando el análisis de correspondencia para la frecuencia de tormentas mayores a 8 mm (Figura 6). Los dos primeros ejes explicaron el 59.9% de la variación (eje 1: 31.1% y eje 2: 28.7%). El eje uno separó aquellos años donde el pico de lluvia más importante fue el mes de agosto (valores positivos) y el mes de septiembre (valores negativos). El eje dos separó aquellos años donde el inicio de lluvias fue importante (valores positivos) y para aquellos años donde el fin de lluvia resultó relevante (valores negativos). La tendencia fue consistente para valores de frecuencias de tormentas  $>16 \text{ mm}$  y  $>30 \text{ mm}$ .

El comportamiento de la intensidad de lluvia fue muy parecido al de la cantidad de lluvia (Tabla 4). En cambio, los valores de frecuencia de la duración de las tormentas a distintos umbrales no presentaron un patrón muy claro, coincidiendo con lo encontrado en el inciso B.

#### D) IMPORTANCIA DE LAS TORMENTAS

En la tabla 5 se presenta el número de tormentas que explican distintos porcentajes de la precipitación anual. Pocas tormentas explicaron en gran medida la cantidad anual de la precipitación (Figura 1). El 50% de la precipitación anual dependió del 7 al 19% de las tormentas presentadas en el año y el 20% estuvo explicado por una o dos tormentas. Esto nos sugiere la importancia de la concentración de la precipitación en pocas tormentas y la importancia de la influencia de los ciclones tropicales en la precipitación anual de Chamela.

#### E) EROSIDIVIDAD DE LA LLUVIA ( $EI_{30}$ )

La distribución de los valores de  $EI_{30}$  también está sesgada a valores bajos. El 53% de las tormentas tienen valores de  $EI_{30}$  menores a  $10 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$  (Tabla 6). El valor medio anual de  $EI_{30}$  fue de  $148.9 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$  pero con una gran variabilidad entre años y al interior de los años (C.V.: 160%; Tabla 7 y Figura 7). El valor promedio de la erosividad anual ( $R$ ) fue de  $6525.2 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$ . El registro más alto correspondió al año de 1983, el cual dependió de una sola tormenta en el mes de mayo (Figura 7). No existió una clara relación entre la precipitación anual y valores de  $R$ , esta última dependió del comportamiento individual de las tormentas, asociado principalmente a los ciclones. Los años de 1983, 1989 y 1990 tuvieron una fuerte influencia ciclónica, presentando tormentas con los valores más altos de  $EI_{30}$  (Figura 7). Las tormentas más erosivas se presentaron por lo general en los meses de julio y septiembre (Figura 7).

La duración de las tormentas no explicó el comportamiento de  $EI_{30}$ . En cambio, la cantidad de lluvia por tormenta tuvo una correlación significativa con la erosividad de las tormentas ( $r=0.83\%$   $P<0.001$ ; Tabla 8).

#### DISCUSION

Los variación anual de la precipitación se encuentra dentro de los valores esperados para las zonas tropicales secas. Walker (1962) encontró que en las zonas tropicales existe una relación exponencial negativa entre la precipitación anual y el coeficiente de variación. El coeficiente de variación de la lluvia anual de Chamela para el período de análisis fue de 28.1%, acercándose al estimado con la relación de Walker (29.0%). Llama la atención que el coeficiente de variación del número anual de tormentas (24.9%) es muy parecido al de la precipitación anual. Esto explica la correlación entre la precipitación anual y el número de tormentas en el año.

La gran variación de la cantidad de lluvias por tormentas se refleja en los valores de gamma menores a uno de las series totales (Tabla 2). La distribución de las lluvias a lo largo del año y principalmente en la temporada de lluvias, son criterios más importantes para definir el estatus hídrico del año, que los valores anuales (El-Swaify y Dangler, 1982).

García-Oliva et al. (1991) encontraron que para la zona de Chamela se presentan en promedio 5 meses húmedos. Entre estos cinco meses, tres son típicamente húmedos (julio, agosto y septiembre) y dos presentan una gran variación entre años (junio y octubre). Esto último, coincide con el análisis por tormentas, donde la mayor variación del patrón de lluvias entre años se da al inicio o final de la temporada de lluvias. Independientemente de la precipitación anual, se pueden encontrar dos grupos de años en relación a la importancia relativa con respecto a la precipitación anual, los que lo presentan al inicio de la temporada (junio) y los que lo presentan al final de la temporada (octubre). Estas diferencias dependen de las frecuencias mensuales de las tormentas con mayor cantidad de lluvia (Figura 7), ya que pocas tormentas explican el mayor porcentaje de la precipitación anual (Tabla 5). La frecuencia de las tormentas más importantes definen al patrón de lluvias. Estas tormentas se deben principalmente a ciclones tropicales (Bullock, 1986). Los ciclones tropicales en esta zona, presentan un patrón aleatorio entre años, muy relacionado con la interacción entre las condiciones atmosféricas y el océano (García-Oliva et al., 1991).

Pocas tormentas son las que explican el escurrimiento. Maass et al. (1988) encontraron que las tormentas mayores a 30 mm eran las que causaban escorrentía en sus parcelas experimentales. Concluyeron que las escorrentías estaban más asociadas con la cantidad e intensidad de la lluvia que con los patrones de cobertura.

La mayor proporción de tormentas que se presentan en Chamela corresponden a eventos con muy poca cantidad y duración. Existen contados trabajos acerca de la importancia de estos eventos en la dinámica de los ecosistemas. Sala y Lauenroth (1982) encontraron en una zona árida subtropical, que las tormentas de poca cantidad (menores a 10 mm) son determinantes en la dominancia de Bouteloua gracilis. La importancia de estos eventos en Chamela deben tomar en cuenta la intercepción por un dosel de vegetación. Cervantes (1988) con tres años de registro, encontró que la intercepción promedio mensual de lluvia fue de 30.2% (ds:13.7), con un valor de intercepción máximo de 54.5% y mínimo de 7.6%. La mayor intercepción ocurrió en los meses de agosto y septiembre, de mayor cobertura. Estos dos meses presentan los valores más altos de temperaturas (36 y 39°C) existiendo una alta evapotranspiración. Los eventos de poca intensidad son los más interceptados por el dosel y deben tener implicaciones importantes en el balance hídrico y energético del ecosistema.

Se ha encontrado una relación inversa entre la duración de las tormentas y la intensidad (Dunne y Leopold, 1978). Button y Ben-Asher (1983), encontraron que las relaciones entre duración e intensidad de lluvias para la zona árida de Israel es de una serie de curvas logarítmicas con pendientes negativas, con distintos niveles de intervalos de ocurrencias. Estas curvas convergen a un punto común de intensidad para los valores más altos de duración. En las zonas tropicales también se ha encontrado la misma relación entre duración e intensidad para

distintos tiempos de retorno (Sheng, 1982). Sin embargo, para Chamela no se encontró una relación significativa entre la duración y la intensidad de la lluvia. En cambio, la cantidad de lluvia fue la que explicó mejor la variación de la intensidad. Kowal y Kassam (1977), con datos de lluvia de Nigeria, encontraron que la cantidad de lluvia tenía una correlación positiva significativa ( $r= 0.99$ ) con la energía cinética liberada, y entre la intensidad de lluvia y la energía cinética liberada. Sin embargo, en este trabajo la intensidad y la cantidad de lluvia estuvieron pobremente correlacionadas ( $r= 0.56$ ). La falta de correlación entre la duración y la intensidad en Chamela se debe a que en las zonas con influencia de ciclones tropicales, las mayores intensidades deben estar asociados a estos eventos de larga duración y gran cantidad de lluvia.

Hudson (1971) determinó, con base en un estudio en Rhodesia, que  $25 \text{ mm h}^{-1}$  era un valor crítico para que ocurra erosión. Este valor ha sido corroborado en Tanzania (Rapp et al., 1972) y Malasia (Morgan, 1974). Sin embargo, este umbral puede ser diferente para procesos distintos de erosión (i.e. erosión laminar o en cárcavas). En Kuala Lumpur, Malasia, la pérdida de suelo por escorrentía superficial se presenta con valores de intensidad de  $60$  a  $75 \text{ mm h}^{-1}$  (Morgan, 1972). En Chamela se encontraron pocas tormentas con intensidades mayores a  $25 \text{ mm h}^{-1}$  (13 en todo el período de estudio y un promedio anual de 1.6). Esta baja frecuencia de eventos muy intensos se debe a la falta de relación que existe entre la intensidad con la duración y cantidad. Esto no implica que en Chamela no existan lluvias muy erosivas. Maass et al. (1988) reportan que las tormentas mayores a  $50 \text{ mm}$  fueron las más importantes causantes de erosión. La intensidad estimada a partir del modelo polinomial inverso para dichos eventos fue de  $14.1 \text{ mm h}^{-1}$ .

Tomando en cuenta que la relación entre duración e intensidad obscurece la erosividad de las tormentas en Chamela, consideramos que un mejor índice es el  $EI_{30}$ . La utilización de este índice en las zonas tropicales ha sido muy criticado (Morgan, 1979; Lal, 1976). Sin embargo, algunos trabajos han demostrado que  $EI_{30}$  es un buen índice de la erosividad de lluvias en zonas tropicales (Stocking y Elwell, 1973). Para el caso particular de Chamela, Maass et al. (1988) encontraron que  $EI_{30}$  era el índice que tenía una mejor correlación con la pérdida de suelo en sus parcelas experimentales. Las tormentas con valores más altos de intensidad (en  $\text{mm h}^{-1}$ ) no corresponden a las tormentas con valores más altos de  $EI_{30}$ . La relación entre  $EI_{30}$  y la cantidad fue significativa, debido al origen ciclónico de las tormentas más erosivas. El valor de  $R$  está explicado en gran medida por pocas tormentas, por lo que la erosividad de la lluvia no tiene una función continua a lo largo de la temporada de lluvias. Este comportamiento ya ha sido reportado para las lluvias de la parte central de México (Wegener, 1979). Las lluvias más erosivas no presentan un patrón muy definido de sus frecuencias mensuales. Esto último limita la utilización de estrategias de conservación a partir del manejo de coberturas

vivas, ya que se pueden presentar tormentas muy erosivas al inicio de la temporada de lluvias cuando el suelo está desprotegido (i.e. tormenta de mayo de 1983, Figura 7). Los valores de R para Chamela están dentro de los rangos reportados para zonas tropicales (Maass y García-Oliva 1990).

#### AGRADECIMIENTOS

Agradecemos el apoyo de Alma Rosa Gutiérrez en la interpretación de los pluviogramas, a Alberto Hernández en el trabajo de campo, a Rocío Esteban por su asistencia técnica. El apoyo económico fue del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT).

#### REFERENCIAS CITADAS

- Bullock, S.H. 1986. "Climate of Chamela, Jalisco and trends in the south coastal region of Mexico" Arch. Met. Geoph. Biocl. 36: 297-316.
- Bullock, S.H. and A. Solís-Magallanes 1990. "Phenology of canopy trees of a tropical deciduous forest in Mexico. Biotropica 22: 22-35.
- Button, B.J. and J. Ben-Asher 1983. "Intensity-duration relationships of desert precipitation at Avdat, Israel" Journal of Arid Environments 6: 1-12.
- Cervantes, L. 1988. "Intercepción de lluvia por el dosel en una comunidad tropical. Ingeniería Hidráulica en México. Segunda época, 3(2): 38-42.
- Cervantes, L., J.M. Maass y R. Domínguez, 1988. "Relación lluvia-escorrimento en un sistema pequeño de cuencas de selva baja caducifolia, Ingeniería Hidráulica. Segunda época, vol 3(1): 30-42.
- De Ita-Martínez, C., J. Sarukhán and J.M. Maass 1991. "Land use patterns on a tropical deciduous forest ecosystem on the Pacific coast of Jalisco, Mexico". (submitted to Agroforestry Systems).
- Dunne, T. and L.B. Leopold, 1978. Water in environmental Planning. Freeman and Co. San Francisco, USA. 818 p.
- El-Swaify, S.A. and E.W. Dangler 1982. "Rainfall erosion in the Tropics: A state-of-the-Art. In: W.Kussow, S.A. El-Swaify and J.Mannering Soil erosion and conservation in the humid tropics. American Society of Agronomy and Soil Science Society of America. USA.: 1-25.
- Ezcurra E. and V. Rodrigues 1986. "Rainfall patterns in the Gran Desierto, Sonora, Mexico". Journal of Arid Environment 10: 13-28.
- García-Oliva, F., E. Ezcurra and L. Galicia 1991. "Pattern of rainfall distribution in the Central Pacific Coast of Mexico" Geografiska Annaler 73-A (3-4): 179-186.
- Hudson, N.W. 1971. Soil Conservation. Batsford, London.
- Jackson, I.J. 1977. Climate, water and agriculture in the tropics. Longman Group, Ltd., London. 248 p.

- Kowal, J.M. and A.H. Kassam 1977. "Energy load and instantaneous intensity of rainstorms at Samaru, Northern Nigeria. In: D.J. Greenland and R. Lal Soil conservation and management in the humid tropics John Wiley & Sons. pp 57-70.
- Lal, R. 1976. "Soil erosion on Alfisols in Western Nigeria. III. Effects of rainfall characteristics" Geoderma 16: 389-401.
- Lal, R. 1987. Tropical ecology and physical edaphology. Jhon Wiley & sons. 732 p.
- López, 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, Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Lott, E.J., S.H. Bullock and A. Solís-Magallanes 1987. "Floristic diversity and structure of upland and arroyo forest of coastal Jalisco" Biotropica 19(3): 228-235.
- Maass, J.M., C. Jordan and J. Sarukhan 1988. "Soil erosion and nutrient losses in seasonal tropical agroecosystems under various management techniques" J. Applied Ecology 25: 595-607.
- Maass, J.M. y F. García-Oliva 1990. "La conservación de suelos en zonas tropicales: el caso de México". Ciencia y Desarrollo. 15 (90): 21- 36.
- Martínez-Yrizar, A. and J. Sarukhán 1990. "Litterfall patterns in a tropical deciduous forest in Mexico over five-year period" J. Tropical Ecol. 6: 433-444.
- McCullagh, P. and J.A. Nelder 1983. Generalized linear models Chapman and Hall. 261 p.
- Morgan, R.P.C. 1972. "Observation on factors affecting the behaviour of a first-order stream" Trans. Inst. Br. Geogr. 56: 171-185.
- Morgan, R.P.C. 1974. "Estimating regional variations in soil erosion hazard in Penninsular Malaysia" Malay. Nat. J. 28: 94-106.
- Morgan, R.P.C. 1979. Soil erosion Longman.
- Murphy, P.G. and A.E. Lugo 1986. "The ecology of tropical dry forest" Ann. Rev. Ecol. Sys. 17: 67-88.
- Posner, J.L. 1982. "Cropping systems and soil conservation in the hill areas of tropical America" Turrialba 32(3): 287-299.
- Rapp, A., V. Axelsson, L. Berry and D.H. Murray-Rust 1972. "Soil erosion and sediment transport in the Morogoro river catchment, Tanzania" Geografiska Annaler 54-A: 125-155.
- Sala, O.E. and W.K. Lauenroth 1982. "Small rainfall events: an ecological role in semiarid regions" Oecologia 53: 301-304.
- Sheng, T.C. 1982. "Erosion problems associated with cultivation in the humid tropical hilly regions". In: W.Kussow, S.A. El-Swaify and J.Mannering Soil erosion and conservation in the humid tropics. American Society of Agronomy and Soil Science Society of America. USA.: 27- 39.
- Sokal R.R. and F.J. Rohlf 1981. Biometry Freeman and Company.

- Valiente, L. 1988. Programa Gamma. Centro de Ecología, UNAM, México.
- Stocking, M.A. and H.A. Elwell 1973. "Prediction of subtropical storm soil losses from field plot studies" Agric. Met. 12: 193-201.
- Walker, H.O., 1962. Citado por Gregory, S. 1969. "rainfall reliability". In: M.F.Thomas and G.W. Whittington (eds.) Environmental and land use in Africa. Methuen, London. 57-82.
- Wegener, H.R. 1979. "La erosión acuática de los suelos en la región de Puebla-Tlaxcala" Comunicaciones 16: 57-67.
- Wischmeier W.H. and D.D. Smith 1958. "Rainfall energy and its relationship to soil loss" Trans. Am. Geophys. Un. 39:285-291.

Tabla 1.- Resumen de la distribución anual de la precipitación (PA) y la escorrentía (Qs) en Chamela, Jalisco (1983-1990).

Año	Número de tormentas	P.A. (mm)	Precipitación promedio por tormentas (mm)	Número de Qs*	Qs* Anual (mm)
1983	56	826.0	14.75	--	---
1984	64	819.6	12.80	5	27.35
1985	42	373.7	8.89	0	0.00
1986	44	537.3	12.21	4	8.48
1987	51	564.1	11.06	5	22.69
1988	59	850.9	14.42	6	157.50
1989	66	896.5	13.58	6	35.41
1990	28	565.2	20.18	3	22.82
Total	410	5433.3		29	274.25
Promedio	51.2	679.2	13.48	4.14	39.18
D.S.	12.8	191.8	3.30	2.16	53.49
C.V.	0.25	0.28	0.24	0.52	1.36

\*: Los datos de escorrentía (Qs) corresponden a una pequeña cuenca experimental (superficie 25.8 ha, cuenca 5) localizada en el sitio de estudio (Cervantes et al., 1988 y López, 1992).

Tabla 2.- Parámetros de la distribución gamma para cantidad, duración e intensidad de las series totales en Chamela, Jalisco (1983-1990).

Parámetro	Media	Moda	Sesgo	Beta	Gamma
Cantidad (mm)	12.73	0.00	0.3536	18.60	0.6848
Duración (h)	140.23	5.35	0.5906	134.88	1.0397
Intensidad (mm h <sup>-1</sup> )	6.90	0.09	0.6135	6.80	1.0147

Tabla 3.- Parámetros del modelo polinomial inverso con error gamma entre la intensidad y cantidad de lluvia.

$$I = (0.06159 + 0.4757\text{mm})^{-1}.$$

Fuente	Devianza	GL	P	R <sup>2</sup>
Total	503.96	441		
Cantidad	209.36	1	<0.001	41.54%
Error	294.60	440		
	Estimado	ee	t	p
Término independiente	0.06159	0.005	12.31	<0.001
Coefficiente	0.4757	0.035	13.59	<0.001

Tabla 4.- Frecuencia mensual de las tormentas (1983-1990) a distintos intervalos de cantidad, duración e intensidad. El valor en paréntesis corresponde a la probabilidad de ocurrencia en las series totales.

Mes	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
<b>CANTIDAD</b>												
(50%) 8mm	3	2	0	0	1	16	40	33	42	19	4	2
(30%) 16mm	1	0	0	0	1	11	21	22	26	8	3	1
(10%) 30mm	1	0	0	0	1	6	7	8	15	4	0	1
<b>DURACION</b>												
(50%) 1.5h	6	1	1	0	1	23	48	46	48	20	0	3
(30%) 3.0h	0	1	1	0	1	11	26	21	21	10	0	2
(10%) 5.0h	0	1	0	0	1	5	12	10	12	6	0	1
<b>INTENSIDAD</b>												
(50%) 4mm h <sup>-1</sup>	4	2	0	0	1	23	46	39	55	24	5	5
(10%) 16mm h <sup>-1</sup>	1	0	0	0	1	4	6	5	18	4	4	0

Tabla 5.- Número de tormentas que explican distintos porcentajes de la precipitación anual. El número en paréntesis corresponden al porcentaje del número de tormentas por año.

AÑO	PORCENTAJE DE LA PRECIPITACION ANUAL					
	20%	40%	50%	60%	80%	100%
83	1(1.7)	4(7.1)	6(10.7)	9(16.0)	17(30.3)	56(100)
84	2(3.1)	4(6.2)	5(7.8)	7(10.9)	18(28.1)	64(100)
85	2(4.7)	4(9.5)	6(14.2)	8(19.0)	15(35.7)	42(100)
86	2(4.5)	3(6.8)	4(9.0)	6(13.6)	14(31.8)	44(100)
87	2(3.9)	5(9.8)	10(19.6)	13(25.4)	22(43.1)	51(100)
88	1(1.6)	4(6.7)	6(10.1)	9(15.2)	16(27.1)	59(100)
89	2(3.0)	4(6.0)	6(9.0)	9(13.6)	20(30.3)	66(100)
90	1(3.5)	3(10.7)	4(14.2)	6(21.4)	11(39.2)	28(100)
Media	1.6(3.1)	3.9(7.6)	5.9(11.5)	8.4(16.4)	16.6(32.4)	51.3(100)

Tabla 6.- Distribución de frecuencias de EI<sub>30</sub> de tormentas, en Chamela, Jalisco, México (1983-1990).

EI <sub>30</sub> MJ mm ha <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup>	Frecuencia	Frecuencia relativa acumulada
1	93	0.26
10	96	0.53
20	29	0.61
40	27	0.69
60	14	0.73
80	9	0.75
100	13	0.79
200	23	0.85
400	19	0.91
800	16	0.95
1000	4	0.96
2000	6	0.98
4000	4	0.99
8000	1	1.00

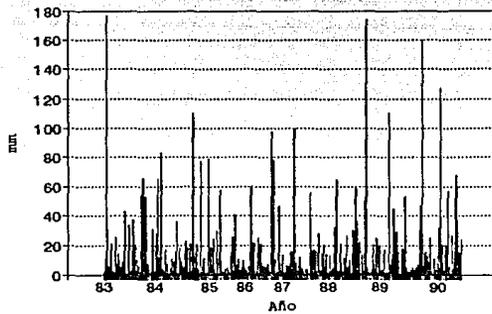
Tabla 7.- Valores medios anuales, máximo anual, mínimo anual de EI<sub>30</sub> y Erosividad Anual (R) (MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>) para Chamela, Jalisco, México (1983-1990).

Año	EI <sub>30</sub>			R
	Media	Máximo	Mínimo	
83	298.68	7828.62	0.06	13739.40
84	107.49	1713.76	0.06	5912.00
85	72.27	1109.43	0.02	2818.80
86	79.55	564.55	0.27	2863.85
87	79.48	1364.05	0.01	3815.17
88	92.27	1384.92	0.01	4982.81
89	254.15	3945.85	0.10	12453.75
90	207.99	2026.74	0.05	5615.99
Media	148.98	2492.24	0.07	6525.22
d.s	90.57	2376.66	0.08	4229.65
c.v.	1.60	1.00	0.89	0.60

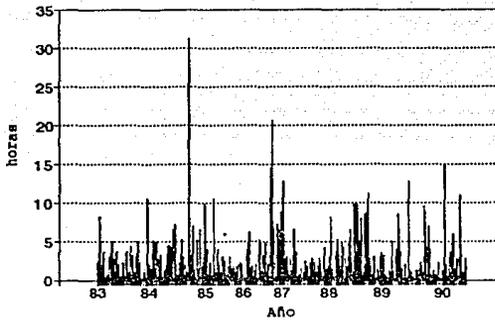
Tabla 8. - Parámetros del modelo polinomial inverso con error gamma entre EI<sub>30</sub> y cantidad de lluvia. EI<sub>30</sub> = (-0.000018 + 0.0033mm)<sup>-1</sup>.

Fuente	Devianza	GL	P	R <sup>2</sup>
Total	2049.9	353		
Cantidad	1416.5	1	<0.001	69.1%
Error	633.4	352		30.9%
	Estimado	ee	t	p
Término independiente	-0.00001	0.000001	13.05	<0.001
Coefficiente	0.00331	0.000237	13.96	<0.001

A) Cantidad



B) Duración



C) Intensidad

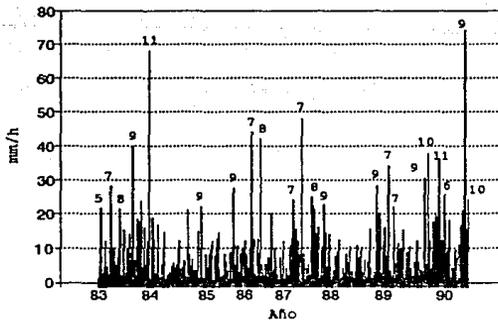


Figura 1.- Cantidad (A), duración (B) e Intensidad (C) por tormentas en Chamela, Jalisco, México (Los números corresponden al mes en que se presentó).

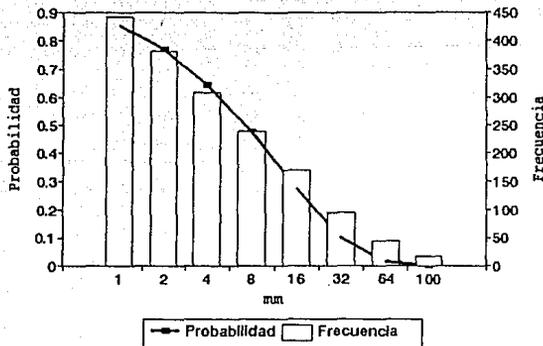


Figura 2.- Frecuencia acumulada y probabilidades de la cantidad de lluvia, por tormenta de las series totales, en Chancala, Jalisco, México (1983-1990).

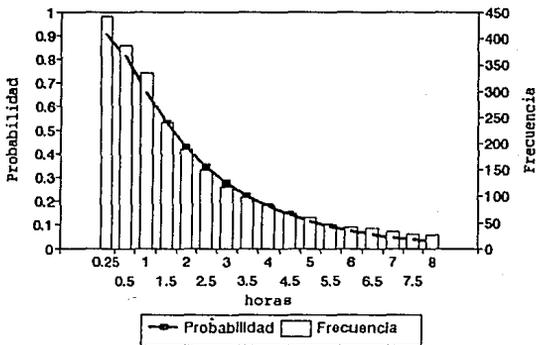


Figura 3.- Frecuencia acumulada y probabilidad de la duración de las tormentas de las series totales, en Chancala, Jalisco, México (1983-1990).

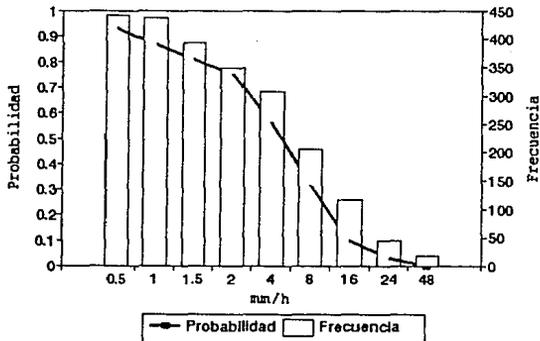


Figura 4.- Frecuencia acumulada y probabilidad de la intensidad por tormentas de las series totales, en Chancala, Jalisco, México (1983-1990).

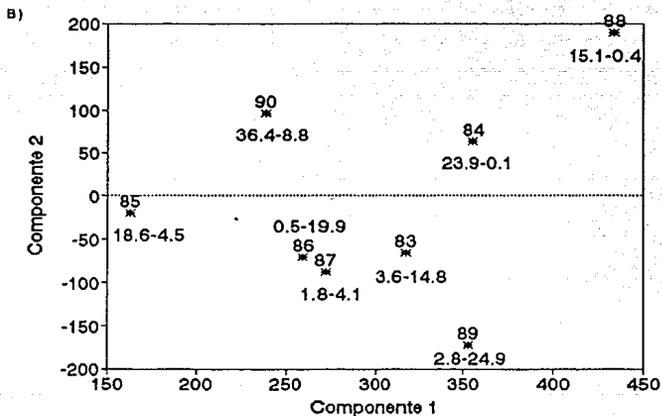
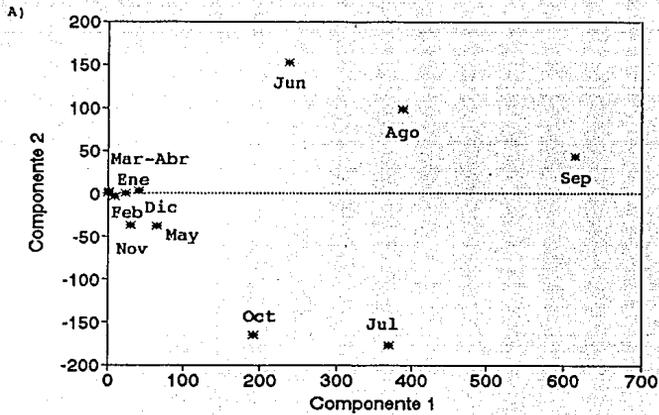


Figura 5.- Ordenación de los A) Meses y B) Años con el análisis de componentes principales. Los números asociados al año corresponde al porcentaje de la precipitación anual de los meses de junio y octubre.

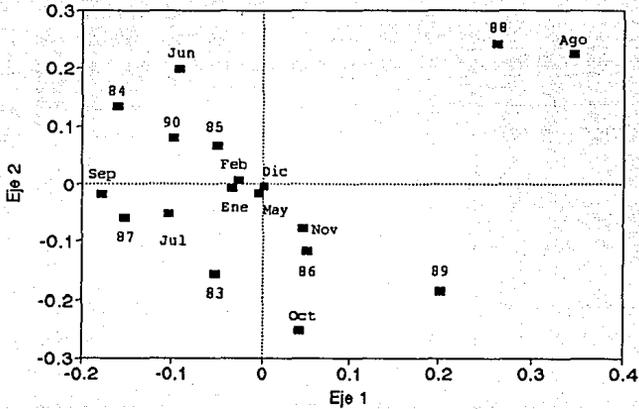


Figura 6.- Ordenación de meses y años a partir del análisis de correspondencia de la frecuencia de eventos de lluvia mayores a 8mm para cada mes.

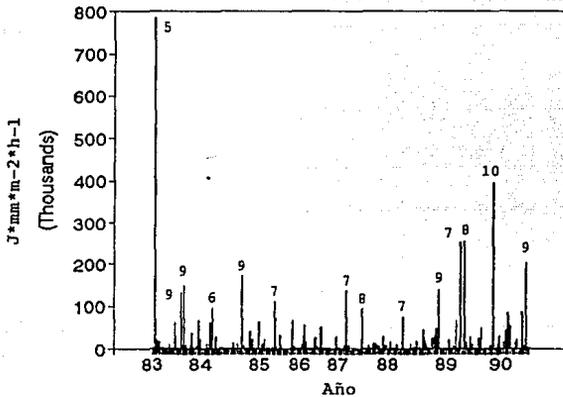


Figura 7.- Valores de EI30 de las principales tormentas en Chamela, Jalisco, México (El número corresponde al mes en que se presentó).

## **CAPITULO VI**

**ANALISIS DEL METODO DE LA DISTRIBUCION DE CESIO-137 EN EL SUELO  
PARA MEDIR EROSION EN UN ECOSISTEMA TROPICAL ESTACIONAL, MEXICO**

# ANALISIS DEL METODO DE LA DISTRIBUCION DE CESIO-137 EN EL SUELO PARA MEDIR EROSION EN UN ECOSISTEMA TROPICAL ESTACIONAL, MEXICO

F. García-Oliva<sup>1</sup>, R. Martínez Lugo<sup>2</sup> y J.M. Maass<sup>1</sup>

<sup>1</sup> CENTRO DE ECOLOGIA, UNAM.

<sup>2</sup> COMISION NACIONAL DE SEGURIDAD NUCLEAR Y SALVAGUARDIAS, SEMIP.

## RESUMEN

Se analizó la concentración de Cs-137 en el perfil del suelo, para estimar el movimiento de suelo en un ecosistema tropical estacional en Chamela, Jalisco, México. Las pequeñas concentraciones de Cs-137 se determinaron con un sistema de espectrometría gamma de alta resolución y bajo ruido. Se confirma que la redistribución de Cs-137 en el paisaje depende de los procesos erosivos. Se concluye que en la interpretación de los niveles de Cs-137, es necesario incorporar análisis de morfología de ladera por ser una medición a pequeña escala.

Palabras clave: Cs-137, espectrometría gamma, erosión, ecosistema tropical estacional, morfología de ladera.

## INTRODUCCION

La erosión de los suelos es uno de los principales procesos de degradación ambiental. Latinoamérica presenta altos niveles de erosión (Pimentel et al., 1987); sin embargo, son pocos los trabajos que cuantifican este problema. La aplicación de métodos acordes a las condiciones de los países tropicales representa una limitante importante en el desarrollo de estos trabajos. Una alternativa metodológica que ha surgido en los últimos años es la aplicación del análisis de la distribución de Cs-137 en el perfil del suelo.

Diversos trabajos han demostrado que existe una fuerte correlación entre la distribución de Cs-137 en el perfil del suelo y los procesos erosivos, dado que la redistribución del isótopo se debe principalmente al movimiento del suelo (Ritchie et al., 1974; McHenry and Ritchie, 1977; De Jong et al., 1983; Lance et al., 1986; Loughran et al., 1987; Martz & De Jong, 1987; Coppinger et al., 1991).

Entre los productos de las precipitaciones radiactivas, el Cs-137 presenta una larga vida media (30.2 años) y es fuertemente adsorbido por las partículas del suelo (Schulz et al., 1960; Miller and Reitemeier, 1963). Los eventos de mayor precipitación radiactiva mundial de Cs-137 ocurrieron entre 1962 y 1964, dejando de tener importancia en el hemisferio norte a partir de 1964 (Cambray et al., 1981). Debido a esto, la actividad actual de Cs-137 es un buen estimador de la intensidad de la erosión de suelo a partir de esa fecha (De Jong et al., 1982).

Existe relación entre la concentración de Cs-137 y el uso del suelo. Se ha encontrado que los terrenos cultivados tienen

menor concentración que los no cultivados, como consecuencia de la pérdida de suelo (Loughran et al., 1987; Martz & De Jong, 1987; Lance et al., 1986; Coppinger et al., 1991).

Hasta el momento, la técnica de la distribución de Cs-137 en el suelo no ha sido aplicada en zonas tropicales. El presente trabajo tiene como objetivo la aplicación de la técnica de espectrometría gamma en un ecosistema tropical estacional en la costa de Jalisco, México.

## METODO

### A) Sitio

Chamela se localiza en la Costa del Pacífico en el Estado de Jalisco, México (19°29'N y 105°01' W). El relieve se caracteriza por la dominancia de lomeríos bajos con pendientes convexas. Morfológicamente los lomeríos están formados por tres elementos principales: i) las crestas que corresponden a las partes superiores relativamente planas (pendiente promedio  $6.0^{\circ} \pm 3.9$ ), ii) las laderas que representan las zonas de arrastre más importante (pendiente promedio  $23.5^{\circ} \pm 4.5$ ) y iii) los pies de laderas que son zonas de acumulación de sedimentos (pendiente promedio  $11.1^{\circ} \pm 9.4$ ). Las laderas son el elemento dominante en la región. El basamento parental es principalmente de rocas cristalinas (riolitas y granitos). Los suelos son jóvenes y con estructuras poco desarrolladas (Entisoles). Las texturas dominantes son migajón arcillo-arenoso, con poco contenido de materia orgánica (<5.0%) y pH entre 6 y 7.

La precipitación media anual es de 748 mm, concentrándose en los meses de verano (Bullock, 1986). El patrón de lluvias es unimodal (septiembre) y con bajo nivel de predecibilidad debido a la influencia de los ciclones tropicales (García-Oliva et al., 1991). La precipitación anual depende de pocas tormentas (el 50% de la precipitación se deben en promedio a 6 tormentas, capítulo 5), caracterizándose por ser muy erosivas (erosividad promedio de  $6525.2 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$ , ver capítulo 5). La temperatura media anual es de  $24.9^{\circ}\text{C}$  (Bullock, 1986).

La vegetación predominante es una selva baja caducifolia, con 758 especies herbáceas y arbóreas, estimadas en una superficie de 1600 ha (Lott, 1985). Las familias más importantes son Leguminosae, Euphorbiaceae, Rubiaceae y Bignoniaceae (Lott et al., 1987).

La agricultura de ladera cubre el 85% del área ejidal, misma que se caracteriza por baja mecanización y productividad. En estas zonas, el maíz (Zea mays L.) es cultivado por uno o dos años y luego es sustituido por los pastos guinea (Panicum maximum Jacq.) y buffel (Cenchrus ciliaris L.) para forraje (De Ita-Martínez et al., 1991). La intensificación de la agricultura de ladera en la zona es reciente, ya que el régimen ejidal comenzó a finales de la década de 1970. La pérdida de suelo por erosión en esta zona es muy importante; en parcelas experimentales, Maass et al. (1988) encontraron valores promedio

de 70 y 31 t ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> para cultivos de maíz y pasto, respectivamente.

#### B) Muestreo de Campo

Se realizaron perfiles en dos sitios: i) en una pequeña cuenca experimental con selva sin perturbar (Cuenca 1, 14.91 ha) en la Estación de Biología Chamela, UNAM. En este sitio, se realizaron un total de 19 perfiles: 12 en tres transectos con distinta altitud, 4 perfiles en la cresta y 3 perfiles en zonas de depósito. ii) En dos sitios en el ejido de San Mateo a 15 km de la Estación de Biología Chamela, UNAM. En cada sitio se realizaron 3 perfiles en crestas con selva y 3 perfiles en crestas de parcelas con pastura, distintas en su tiempo de uso (uno y siete años).

Los perfiles se muestrearon cada 2 cm hasta una profundidad de 12 cm. Las muestras se secaron y se homogenizaron en un tamiz de 2 mm de abertura. A cada muestra de suelo se le determinó la densidad aparente, el contenido de materia orgánica por el método de Walkley-Black (Nelson and Sommers, 1982) y la concentración de Cs-137 con la técnica de espectrometría gamma. Con una muestra compuesta del perfil se determinó la textura del suelo con el método de Boyoucos (1963).

#### C) Técnica de Espectrometría Gamma

##### 1. Espectrómetro gamma

El análisis de concentración de Cs-137 se realizó en el Laboratorio de Vigilancia Radiológica Ambiental de la Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias, SEMIP. El espectrómetro gamma utilizado está integrado por un detector de germanio hiperpuro, electrónica de bajo ruido y alta estabilidad y resolución, computadora para análisis e interpretación de espectros y un blindaje graduado para minimizar el fondo de radiación ambiental del laboratorio. La figura 1 es una representación esquemática de un espectrómetro gamma de bajo fondo.

El espectrómetro empleado en este estudio tiene una resolución de 1 keV para una energía de 122 keV y de 1.9 keV para una energía de 1.33 MeV. Esta resolución permite distinguir claramente a dos radionúclidos cuya energía difiere solamente en 5 keV.

Se realizó un estudio para determinar los componentes del fondo ambiental del laboratorio, el cual indicó que el componente más importante es el K-40, que tiene una energía de 1460 keV y fue el fotopico para estimar la calidad del blindaje. Se obtuvo un espectro de fondo con este blindaje y se comparó con el obtenido sin ningún blindaje, dando por resultado una disminución del conteo en este fotopico del 98%.

Con el blindaje instalado, se estimó la contribución del fondo en la región de 661.7 keV, que corresponde al Cs-137. Con esto se determinó el límite inferior de detección del espectrómetro para esa energía, que resultó de 0.3 Bq kg<sup>-1</sup>, en un tiempo de medición de 50,000 segundos.

## 2. Calibración del espectrómetro.

Una vez que se optimizó el blindaje del espectrómetro, se realizó su calibración en energía, utilizando un patrón con una mezcla de los radionúclidos Cd-109, Co-57, Ce-139, Hg-203, Sn-113, Sr-85, Cs-137, Y-88 y Co-60, marca DUPONT, modelo NES-600 con trazabilidad al National Bureau of Standards (NBS).

Este patrón está contenido en un recipiente tipo Marinelli, semejante a los utilizados para la cuantificación de las muestras, de tal forma que no hay diferencia de geometría entre la calibración del espectrómetro y la medición de la muestra.

La calibración en energía dió por resultado la expresión:

$$E(\text{keV}) = 1.00 (\text{keV}) + 0.25 \text{ keV/canal}$$

la cual fue almacenada en disco y se utilizó para la identificación de fotopicos con una ventana de  $\pm 1$  keV en los espectros posteriores.

El siguiente paso fue realizar la calibración en eficiencia, utilizando el mismo espectro de la calibración en energía, obteniendo la expresión:

$$E(\%) = 1.025 E^{-0.67}$$

La figura 2 muestra la eficiencia del sistema para el intervalo de energía de 122 keV a 1.836 MeV. Esta calibración se utilizó con aquellas muestras cuya cantidad colectada era mayor a 500 g, ya que el recipiente Marinelli toma aproximadamente esa cantidad.

La calibración en eficiencia fue también realizada para una geometría que tiene como contenedor de muestra a un vaso de polietileno (Vp) de 5 cm de diámetro. Para este caso, se preparó un estándar con una solución certificada, marca DUPONT, tipo NES-615 que contiene los mismo radionúclidos mencionados anteriormente y con la cual se marcó una muestra de suelo "virgen". Esta calibración fue utilizada para aquellos casos en que la cantidad colectada de muestras era menor a 100 g. Se compararon la concentración de Cs-137 con las dos geometrías para una misma muestra, para determinar si existían diferencias entre ellas.

En un trabajo anterior, Martínez (1989) determinó que para energías mayores a 392 keV no hay cambio importante en la eficiencia para diferentes densidades, lo que indica que no hay necesidad de preparar muestras de calibración tan restrictivas y que la calibración en eficiencia del sistema realizadas con un estándar como el NES-600 es buena para cuantificar muestras de diferentes densidades a partir de energías medias (392 keV).

## RESULTADOS Y DISCUSION

La exactitud del método para medir erosión con Cs-137 depende de los límites de detección y la calibración del equipo, así como también de la variación espacial y errores del muestreo de campo (Kachanoski y De Jong, 1984). El sistema del espectrómetro gamma utilizado tiene un margen de error muy reducido. La influencia del fondo ambiental fue disminuido en 98%, la interferencia de otros fotopicos en el conteo es mínima debido a la resolución en energía ( $\pm 1$  keV) y la calibración de

las curvas de eficiencia con estándares adecuados, lo que permitió medir concentraciones bajas de Cs-137 en las muestras (límite inferior  $0.3 \text{ Bq kg}^{-1}$ ). Esto se refleja en la comparación de las dos geometrías utilizadas (error promedio = 3.6%, Tabla 1).

La distribución de Cs-137 en el perfil de suelo fue parecida a lo encontrado en otros trabajos (De Jong *et al.*, 1982; Loughran *et al.*, 1987). La mayor concentración se presentó en la parte superficial del suelo y disminuye con la profundidad (Figura 3). Esta distribución es similar a la de la materia orgánica (MO). El 31% de la materia orgánica se encontró en los primeros 2 cm y sólo el 21% a profundidades mayores a 8 cm (Figura 4). La mayor cantidad de Cs-137 fue retenido en los horizontes orgánicos, dado que la profundidad promedio con concentración cuantificable de Cs-137 fue hasta 8 cm y su pico de actividad se dió en los primeros 2 cm en suelos no perturbados (Tabla 2). Este patrón fue consistente en todos los perfiles, independientemente del sitio dentro del paisaje (Figura 3).

La correlación entre la textura de suelos y la densidad con la concentración de Cs-137 ( $\text{Bq m}^{-2}$ ) no fue significativa. Los valores promedio de concentración de Cs-137 ( $\text{Bq m}^{-2}$ ) para tres sitios de cresta con selva fueron muy parecidos, a pesar que la textura de los suelos fue diferente (Tablas 2 y 3). Meriwether *et al.* (1988) en un estudio regional de los suelos de Louisiana, E.U.A., encontraron que la concentración de Cs-137 está más relacionada con la disponibilidad de las cargas de adsorción dentro del perfil del suelo y no depende de patrones edáficos o geográficos.

La redistribución del Cs-137 está muy relacionada con el proceso erosivo. Al interior de una cuenca no perturbada (Cuenca 1), las zonas de cresta presentaron mayores concentraciones de Cs-137 con respecto a las zonas de ladera (zonas de arrastre) y menores a las zonas de sedimentación (Figura 3). Sin embargo, no tuvieron una relación directa con la inclinación y longitud de la pendiente. En la figura 5 se muestran tres transectos dentro de esta cuenca. Los valores de concentración de Cs-137 fueron menores en el transecto con menor pendiente (transecto con altitud de 124 m) que los otros dos transectos de mayor pendiente. La falta de relación entre la concentración de Cs-137 y la pendiente ya ha sido reportada para suelos en Canadá (De Jong *et al.*, 1983; Kiss *et al.*, 1986). Estos autores concluyen que existe una interacción más compleja entre la movilidad de Cs-137 y la morfología de la pendiente.

La relación erosión-relieve es compleja y no puede ser explicada a partir de relaciones lineales con elementos topográficos aislados (e.g. inclinación de la pendiente; Moore *et al.*, 1986). Los procesos erosivos en un punto dado dentro del paisaje, están influenciados por las características de los suelos adyacentes, especialmente a lo largo de una pendiente. Por lo tanto, para reconocer la dinámica del movimiento del suelo en un punto dentro del paisaje, es necesario considerar su interacción con los puntos cercanos (Freeze, 1972; Sinai *et al.*, 1981; Daniels *et al.*, 1986; O'Loughlin, 1986). Por lo anterior,

el análisis de los valores de concentración de Cs-137 en la figura 5, debe ser hecho considerando las características morfológicas de las pendientes. Por ejemplo, los puntos cercanos al cauce tuvieron niveles más altos de Cs-137 con respecto a los sitios ladera-arriba (puntos B, C, F, G y K, en la Figura 5). El punto F es el que presentó mayor concentración de Cs-137, ya que se encuentra en la zona de acumulación de una ladera con alto riesgo erosivo.

El uso del suelo afecta la redistribución de Cs-137, las zonas agrícolas con movimiento de suelo presentan valores bajos de concentración de Cs-137 (De Jong et al., 1983; Loughran et al., 1987). En el presente estudio encontramos la misma tendencia, los niveles de Cs-137 en las zonas cultivada fueron menores a los valores de los sitios con selva (Tabla 2).

#### CONCLUSIONES

El método de Cs-137 es una alternativa en los estudios de erosión en el sitio de trabajo. El principal factor que afecta a la distribución del Cs-137 en el perfil del suelo es la materia orgánica.

La exactitud de la medición de erosión de suelos con Cs-137 depende de dos factores: i) el análisis de espectrometría gamma y ii) la variación espacial y los errores de muestreo.

El establecimiento de sistemas de espectrometría gamma con gran resolución es importante. El sistema utilizado resultó adecuado en la determinación de la concentración de Cs-137 para su aplicación en estudios de erosión.

Debido a que esta técnica estima la erosión del suelo a pequeña escala (Coppinger et al., 1991), el estudio de la morfología de las laderas es importante en la interpretación de la relación entre los niveles de Cs-137 y el movimiento de suelo.

#### AGRADECIMIENTOS

A Leopoldo Galicia, Alma Rosa Gutiérrez, Pedro César González y Enrique Solís por su apoyo en el campo, a Ramiro Peña por permitirnos usar sus parcelas, a Rocío Esteban por su apoyo logístico. Este trabajo se realizó con el apoyo económico del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT).

#### REFERENCIAS

- Bouyoucos, G.J. 1963. "Directions for making mechanical analysis of soils by hydrometer method" Soil Science 32: 25-30.
- Bullock, S.H. 1986. "Climate of Chamela, Jalisco and trends in the south coastal region of Mexico". Arch. Met. Geoph. Biocl. 36: 297-316.
- Cambray, R.S., E.M.R. Fisher, K. Play-Ford, J.D. Eakins and D. Peirson 1981. "Radioactive fallout in air and rain: results to end of 1980". United Kingdom Atomic Energy Authority. Publ. AERE-R100088, Harwell, Oxon, England.

- Coppinger, K.D., W.A. Reiners, I.C. Burke and R.K. Olson 1991. "Net erosion on a Sagebrush steppe landscape as determined by Cesium-137 distribution". Soil Sci. Soc. Am. J. 55: 254-258.
- Daniels, R.B., D.K. Cassel and J.W. Gilliam 1986. "Reply to Comments on soil erosion class and landscape position" Soil Sci. Am. J. 50: 1375-1376.
- De Ita-Martínez, C., J. Sarukhán and J.M. Maass 1991. "Land use patterns on a tropical deciduous forest ecosystem on the Pacific coast of Jalisco, Mexico". (submitted to Agroforestry Systems).
- De Jong, E., H. Villar and J.R. Bettany 1982. "Preliminary investigations on the use of <sup>137</sup>Cs to estimate erosion in Saskatchewan". Can. J. Soil Sci. 62: 673-683.
- De Jong, E., C.B.M. Begg and R.G. Kachanoski 1983. "Estimate of soil erosion and deposition for some Saskatchewan soils". Can. J. Soil Sci. 63: 607-617.
- Freeze, R.A. 1972. "Role of subsurface flow in generating surface runoff. II Upstream source area" Water Resour. Res. 8: 1272-1282.
- García-Oliva, F., E. Ezcurra and L. Galicia 1991. "Pattern of rainfall distribution in the Central Pacific Coast of Mexico" Geografiska Annaler 73-A (3-4): 179-186.
- Kachanoski, R.G. and E. De Jong 1984. "Predicting the temporal relationship between soil Cesium-137 and erosion rate" J. Environ. Qual. 13: 301-304.
- Kiss, J.J., E. De Jong and H.P. Rostad 1986. "An assesment of soil erosion in west-central Saskatchewan using Cesium-137" Can. J. Soil Sci. 66: 591-600.
- Lance, J.C., S.C. McIntery, J.W. Naney and S.S. Rousseva 1986. "Measuring sediment movement at low erosion rates using Cesium-137". Soil Sci. Soc. Am. J. 50: 1303-1309.
- Loughran, R.J., B.L. Campbell and D.E. Walling 1987. "Soil erosion and sedimentation indicated by caesium 137: Jackmoor Brook catchment, Devon, England". Catena 14: 201-212.
- Lott, E.J. 1985. Listado florístico de la Estación de Biología Chamela, Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Lott, E.J., S.H. Bullock and A. Solís-Magallanes 1987. "Floristic diversity and structure of upland and arroyo forest of coastal Jalisco". Biotropica 19(3): 228-235.
- Maass, J.M., C. Jordan and J. Sarukhan 1988. "Soil erosion and nutrient losses in seasonal tropical agroecosystems under various management techniques". J. Applied Ecology 25: 595-607.
- Martz, L.W. and E. De Jong 1987. "Using Cesium-137 to assess the variability of net soil erosion and its association with topography in a Canadian prairie landscape". Catena 14: 439-451.

- Martínez, R. 1989. "Evaluación de sistema de Espectrometría Gamma para análisis de muestras ambientales". En: Memorias del III Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de Seguridad Radiológica. Morelia, Michoacán.
- McHenry, J.R. and J.C. Ritchie 1977. "Physical and chemical parameters affecting transport of  $^{137}\text{Cs}$  in arid watersheds". Water Resour. Res. 13: 923-927.
- Meriwether, J.R., J.N. Beck, D.F. Keeley, P. Langley, R.H. Thompson and J.C. Young 1988. "Radionuclides in Louisiana soils". J. Environ. Qual. 17: 562-568.
- Miller, J.R. and R.F. Reitermeier 1963. "The leaching of radiostrontium and radiocesium through soils". Soil Sci. Soc. Am. Proc. 27: 141-144.
- Moore, I.D., G.J. Burch and E.M. O'Loughlin 1986. "Comments on soil erosion class and landscape position" Soil Sci. Am. J. 50: 1374-1375.
- Nelson, D.W. and L.E. Sommers 1982. "Total carbon and organic matter" In: Methods of soil analysis: chemical and microbiological properties. Eds. A.L. Page, R.H. Miller and D.R. Keeney. Agronomy 9, part 2, American Society of Agronomy Inc. and Soil Science Society of America. Madison. pp: 539-579.
- O'Loughlin, E.M. 1986. "Prediction of surface saturation zone in natural catchment by topographic analysis" Water Resour. Res. 22: 794-804.
- Pimentel, D., J. Allen, A. Beers, L. Guinand, R. Linder, P. McLaughlin, B. Meer, R. Salazar and A. Hawkins 1987. "World agriculture and soil science". BioScience 37: 277-283.
- Ritchie, J.C., J.A. Spraberry and J.R. McHenry 1974. "Estimating soil erosion from the redistribution of fallout  $^{137}\text{Cs}$ ". Soil Sci. Soc. Am. Proc. 38: 137-139.
- Schulz, R.K., R. Overstreet and I. Barshad 1960. "On the soil chemistry of cesium 137". Soil Science. 89: 16-27.
- Sinai, G., D. Zaslavsky and P. Golany 1981 "The effect of soil surface curvature on moisture and yield - Beer Sheba observation" Soil Science 137: 367-375.

Tabla 1.- Comparación de la concentración de Cs-137 (Bq kg<sup>-1</sup>) para un perfil usando en el análisis de espectrometría gamma dos geometrías del contenedor de la muestra (Vp: vaso de polietileno). El error fue estimado con la siguiente expresión:  $E=2(Vp-M)/Vp+M$

Prof. (cm)	Marinelli	Vp	Error
0-2	8.90	8.95	0.006
2-4	7.00	7.20	0.028
4-6	3.80	4.10	0.076
SUMA	19.70	20.25	0.028

Tabla 2.- Concentración de Cs-137 en crestas de selva y parcelas con distinto tiempo de uso en Chamela, Jalisco, México (promedio y error estándar).

Sitio Pico	Concentración de Cs-137 (Bq m <sup>-2</sup> )	Profundidad total con Cs-137 (cm)	Profundidad del de Concentración de Cs-137 (cm)
<b>SELVA:</b>			
Cuenca 1	536.82 (81.24)	8.4 (0.38)	2 (0.0)
S.M. 1	518.96 (24.79)	8.0 (0.00)	2 (0.0)
S.M. 2	537.06 (115.81)	8.0 (1.15)	2 (0.0)
<b>AGRICOLA:</b>			
1 año	285.29 (47.05)	7.3 (0.89)	2 (0.0)
7 años	321.93 (26.08)	9.3 (0.89)	2 (0.0)

Tabla 3.- Características de los suelos muestreados en crestas de selva y parcelas con distinto tiempo de uso en Chamela, Jalisco, México (media y error estándar).

Sitio	Pendiente Grados	Textura		Densidad g cm <sup>-3</sup>
		Arenas(%)	Arcillas(%)	
<b>SELVA:</b>				
Cuenca 1	2.0 (0.71)	59.6 (1.59)	26.4 (0.98)	1.22 (0.03)
San Mateo 1	4.7 (1.76)	38.0 (1.15)	35.3 (1.76)	1.31 (0.01)
San Mateo 2	6.3 (1.45)	34.0	42.0	1.18 (0.03)
<b>AGRICOLA:</b>				
1 año	9.0 (1.52)	56.6 (4.66)	22.0 (0.15)	1.16 (0.02)
7 años	10.0 (3.05)	48.0 (4.16)	28.6 (1.33)	1.16 (0.02)

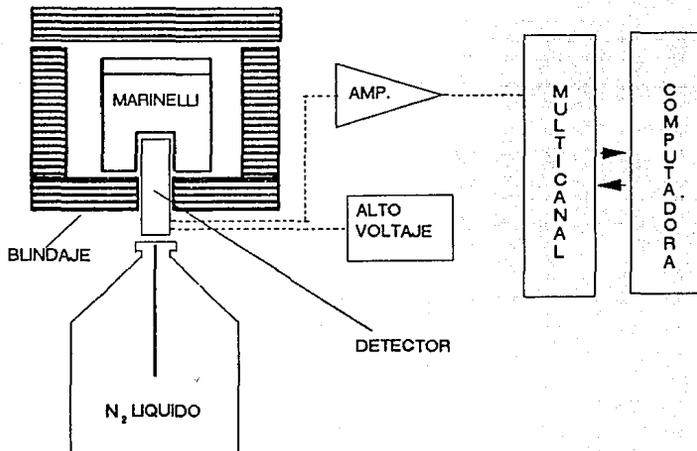


Figura 1.- Diagrama del Espectrómetro Gamma de bajo fondo.

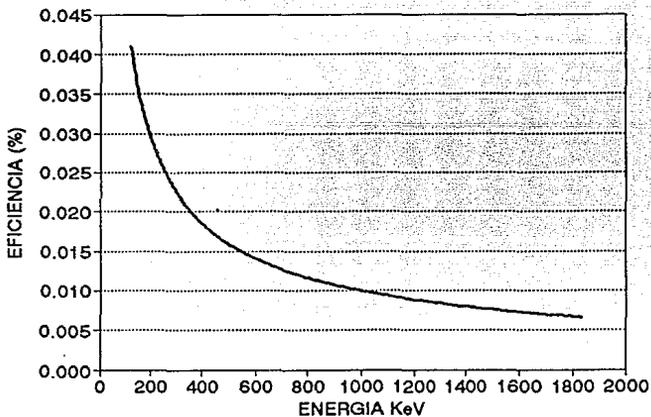
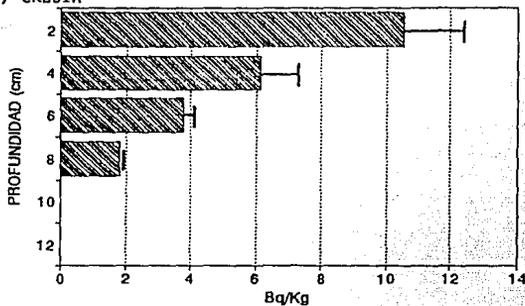
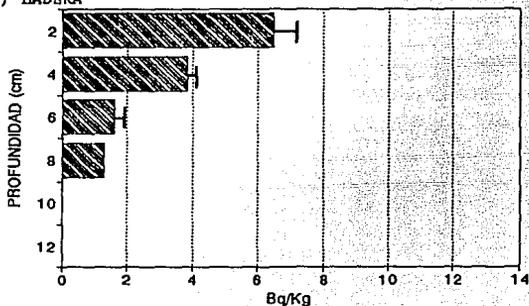


Figura 2.- Curva de eficiencia del equipo para distintas energías (julio de 1991).

A) CRESTA



B) LADERA



C) PIE DE LADERA

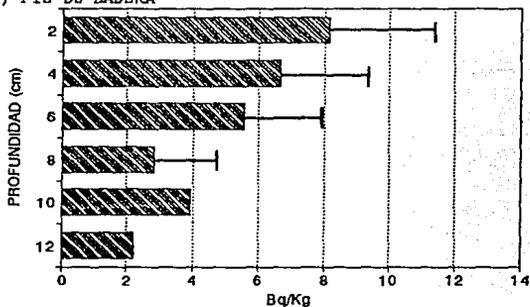


Figura 3.- Distribución promedio (error estándar) de la concentración de Cs-137 (Bq/Kg) en el perfil del suelo de tres elementos del relieve en una cuenca con selva no perturbada, Chamela, Jalisco, México.

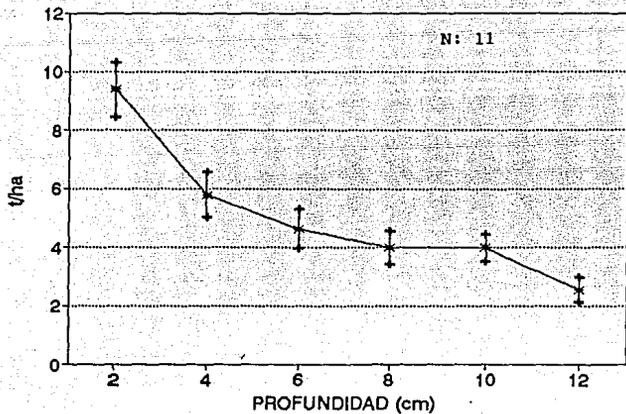


Figura 4.- Promedios (error estándar) de la materia orgánica de perfiles de suelo con selva, Chamela, México.

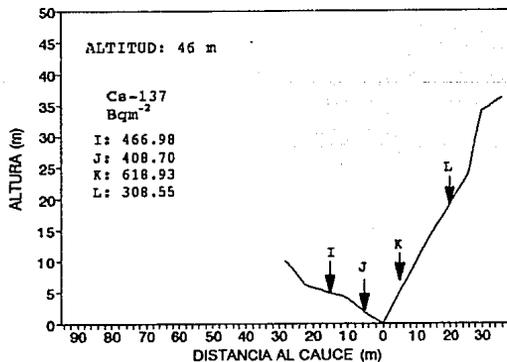
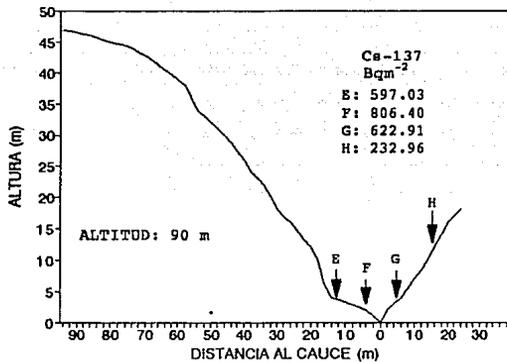
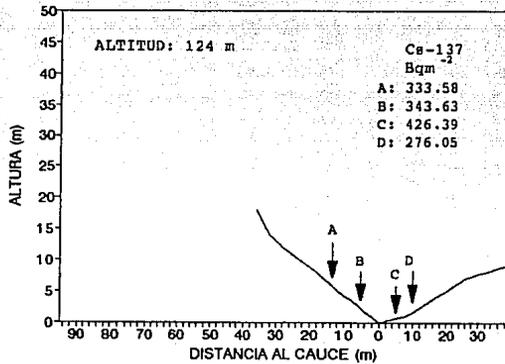


Figura 5.- Niveles de actividad de Cs-137 en tres transectos con distinta altitud en una cuenca no perturbada, Chamela, Jalisco, México.

## **CAPITULO VII**

**EROSION Y PERDIDA DE NUTRIENTES DEL SUELO EN UN AGROECOSISTEMA  
TROPICAL ESTACIONAL, MEXICO**

# EROSION Y PERDIDA DE NUTRIENTES DEL SUELO EN UN AGROECOSISTEMA TROPICAL ESTACIONAL, MEXICO.

F. García-Oliva<sup>1</sup>, J.M. Maass<sup>1</sup> y R. Martínez<sup>2</sup>

<sup>1</sup> CENTRO DE ECOLOGIA, UNAM.

<sup>2</sup> COMISION NACIONAL DE SEGURIDAD NUCLEAR Y SALVAGUARDIAS, SEMIP.

## RESUMEN

Se estudia el cambio de nutrientes del suelo en una cronosecuencia de uso agropecuario, en un agroecosistema tropical estacional de la costa de Jalisco, México. El tiempo de manejo se reflejó en un aumento del pH, el incremento en la densidad aparente del suelo y el cambio de su fertilidad. Se encontró un aumento de la cantidad de nutrientes en el suelo debido a la quema de la vegetación, siendo más marcado en el  $K^+$ ,  $Ca^{++}$ ,  $PO_4$  y fósforo total (PT). Sin embargo, este aumento disminuyó con la edad de la parcela, principalmente en el  $K^+$ ,  $Ca^{++}$ ,  $PO_4$ , PT y nitrógeno total (NT). La parcela con siete años de uso tuvo cantidades menores a las de la selva. El factor más importante de la pérdida de nutrientes fue la erosión del suelo. Así, la mayor concentración de nutrientes se dió en los primeros 4 cm de profundidad, relacionados con la distribución de las superficies de intercambio catiónico (principalmente la materia orgánica). Las laderas son la unidad de relieve dominante en el sitio de trabajo y presentaron el mayor nivel de susceptibilidad a la degradación por erosión.

Palabras clave: Agroecosistema tropical estacional, erosión, nutrientes del suelo, tiempo de uso.

## INTRODUCCION

En la actualidad existe una tendencia acelerada en transformar a los ecosistemas tropicales secos en praderas inducidas. Esta transformación se ha extendido en México (Toledo et al., 1989) y Centro América (Toledo, 1991). Estas transformaciones bajo condiciones de manejo inadecuado, causan una acelerada degradación del ecosistema.

Los ecosistemas tropicales son más susceptibles a la degradación, ya que el almacén más importante de nutrientes está en la biomasa y no en el suelo (Lal, 1987); así como también, por su alta erodibilidad (Maass y García-Oliva, 1990). La conversión de las selvas a terrenos agrícolas disminuye los contenidos de los nutrientes del suelo y modifica sus propiedades físicas (Brown y Lugo, 1990). La capacidad de regeneración de la selva en las parcelas abandonadas, depende de los niveles de intensidad de uso, siendo menor en los suelos muy degradados (Uhl et al., 1988). Para poder llevar a cabo un manejo sostenido de los ecosistemas, es importante reconocer en qué momento la

degradación alcanza niveles en los cuales su recuperación es difícil.

El presente trabajo tuvo como objetivo evaluar la pérdida de nutrientes del suelo en un agroecosistema tropical estacional en México.

## METODO

### A) Sitio

Chamela se localiza en la Costa del Pacífico en el Estado de Jalisco, México (19°29'N y 105°01' W). El relieve se caracteriza por la dominancia de lomeríos bajos con pendientes convexas sobre rocas cristalinas (riolitas y granitos). Los lomeríos están formados por tres unidades principales: i) las crestas que corresponden a las partes superiores (pendiente promedio  $6.0^{\circ} \pm 3.9$ ), ii) las laderas (pendiente promedio  $23.5^{\circ} \pm 4.5$ ) y iii) los pies de laderas (pendiente promedio  $11.1^{\circ} \pm 9.4$ ). Los suelos son jóvenes y con estructuras poco desarrolladas (Entisoles). Las texturas dominantes son migajón arcillo-arenoso.

La temperatura media anual es de  $24.9^{\circ}\text{C}$  y la precipitación media anual es de 748 mm, concentrándose en los meses de verano (Bullock, 1986). El patrón de lluvias está determinado por la influencia de los ciclones tropicales (García-Oliva et al., 1991). La precipitación anual depende de pocas tormentas (el 50% de la precipitación se deben en promedio a 6 tormentas, capítulo 5), siendo estas muy erosivas (erosividad promedio de  $6525.2 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$ , ver capítulo 5).

La vegetación predominante es una selva baja caducifolia, con más de 758 especies herbáceas y arbóreas, estimadas en una superficie de 1600 ha (Lott, 1985). La selva es transformada a agricultura de ladera por medio de roza-tumba-quema. El maíz (Zea mays L.) es cultivado por uno o dos años y luego es sustituido por los pastos guinea (Panicum maximum Jacq.) y buffel (Cenchrus ciliaris L.) para forraje (De Ita-Martínez et al., 1991).

### B) Muestreo y análisis de laboratorio

Se realizaron perfiles de suelo en parcelas con una cronosecuencia de uso agropecuario (selva, 1, 3, 7 y 11 años). Este diseño experimental presenta pseudoreplicación; es decir, el efecto de tiempo de uso puede estar confundido con el factor sitio para cada una de las parcelas (Hurlbert, 1984). Este problema es común en trabajos a esta escala, por la dificultad de encontrar suficientes réplicas con características muy similares. Este tipo de diseño ha recibido el nombre de "falsas series de tiempo" (Bruijnzeel, 1990). En cada parcela, se obtuvieron tres perfiles por unidad del relieve (cresta, ladera y pie). Las muestras en cada perfil se colectaron cada 2 cm hasta una profundidad de 12 cm. Estas se secaron y se homogeneizaron en un tamiz de 2 mm.

De una muestra compuesta por perfil se determinó la textura del suelo con el método de Bouyoucos (1963). En cada una de las muestras, se obtuvo la densidad aparente, el pH (electrodo de

vidrio y potenciómetro), porcentaje de materia orgánica (MO) con el método de Walkley-Black (Nelson y Sommers, 1982), nitrógeno total (NT) y fósforo total (PT) por colorimetría (Technicon Industrial System, 1977). Para sodio ( $\text{Na}^+$ ), potasio ( $\text{K}^+$ ), magnesio ( $\text{Mg}^{++}$ ), calcio ( $\text{Ca}^{++}$ ) y fósforo disponible ( $\text{PO}_4$ ) se obtuvo una extracción con solución Melich No. 2 (0.2N ácido acético, 0.015N floruro de amonio, 0.2N cloruro de amonio y 0.01N ácido clorhídrico). La concentración de los cationes se determinó por flamometría y fotoespectrometría (Perkin-Elmer, 1976) y del fósforo disponible por colorimetría (Technicon Industrial System, 1977).

La erosión neta fue estimada a partir de la distribución de Cs-137 en el perfil del suelo (Martz y De Jong, 1987; ver capítulo 6). La concentración de Cs-137 fue determinada por espectrometría gamma de bajo fondo en el Laboratorio de Vigilancia Radiológica de la Comisión Nacional de seguridad Nuclear y Salvaguardia, SEMIP. La erosión neta fue estimada con la siguiente expresión (De Jong *et al.*, 1983):

$${}^{137}\text{Csp} = ({}^{137}\text{Csc} - {}^{137}\text{Cse}) / {}^{137}\text{Csc}$$

donde  ${}^{137}\text{Csp}$ : pérdida de Cs-137,  ${}^{137}\text{Csc}$ : promedio de la concentración de Cs-137 en los perfiles controles ( $\text{Bq m}^{-2}$ ) y  ${}^{137}\text{Cse}$ : concentración de Cs-137 en el perfil caso ( $\text{Bq m}^{-2}$ ).

$$\text{EN} = {}^{137}\text{Csp} * d * p$$

donde EN: erosión neta ( $\text{g cm}^{-2}$ ),  ${}^{137}\text{Csp}$ : pérdida de Cs-137, d: densidad aparente ( $\text{g cm}^{-3}$ ) y p: profundidad con concentración cuantificable de Cs-137.

Se efectuó una transformación arcoseno a los valores de porcentajes de arcillas y arenas previos al Análisis de Varianza (ANOVA) de dos factores (tiempo de uso y unidad de relieve). También, se utilizó el ANOVA con los valores de pH con dos factores (tiempo de uso y profundidad) y para la densidad aparente con tres factores (tiempo de uso, profundidad y relieve).

Los datos de concentración de nutrientes (ppm) cada 2 cm se multiplicaron por la densidad aparente para obtener la cantidad expresada en  $\text{kg ha}^{-1}$ . Con los datos de las primeras tres profundidades se realizó un ANOVA con tres factores: tiempo de uso, profundidad y relieve.

Se calcularon residuales estandarizados de acuerdo a la siguiente expresión:  $R = (e - s) / (s)^{0.5}$ ; donde R: es el residual, e: el valor del nutriente ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) de la parcela y s: el valor del mismo nutriente ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) de la selva.

## RESULTADOS

En la tabla 1 se presentan las características promedio de los suelos por unidad de relieve y tiempo de uso. Los suelos de la selva fueron más arenosos ( $p=0.004$ ) que los suelos del resto de las parcelas. En cambio, el promedio del porcentaje de arcillas aumentó significativamente ( $p=0.02$ ) con la edad de la parcela. El pH se vio modificado con la transformación de la selva, de tal forma que los suelos de las parcelas fueron

significativamente ( $p < 0.001$ ) más neutros que los de la selva. El suelo fue más ácido a mayor profundidad ( $p < 0.001$ , Tabla 1).

La densidad aparente cambió con el relieve ( $p = 0.04$ ), la profundidad ( $p < 0.001$ ) y el tiempo de uso ( $p < 0.001$ ). Los pies de laderas tuvieron mayor densidad con respecto a las laderas y crestas. La densidad del suelo también aumentó con la profundidad, relacionado con la distribución de la MO en el perfil del suelo. El tiempo de uso modificó la densidad aparente (Figura 1), las parcelas de once años presentaron mayor densidad aparente con respecto a las otras (la parcela de once años fue significativamente 10% más densa que la de un año). La compactación del suelo se debió principalmente al pisoteo del ganado y la erosión del suelo. La mayor densidad aparente de la selva se debió a que su textura es significativamente diferente con respecto a las otras parcelas (mayor proporción de arenas y menor de arcillas). Esto último fue resultado de la seudoreplicación del diseño experimental.

En la tabla 2 se presentan los niveles de significancia y el el porcentaje de la varianza explicada por cada factor ( $R^2$ ) de los ANOVA, de cada uno de los nutrientes analizados. El efecto del tiempo de uso y la profundidad fueron los principales factores que explican a los modelos. En la tabla 3 se presentan la distribución de los nutrientes en el perfil del suelo. En los primeros 4 cm de profundidad se presentó la mayor cantidad de los nutrientes a excepción de  $\text{Na}^+$  y PT (Figuras 3 y 8), ya que en esta parte se encuentran una mayor proporción de las superficies de adsorción por la presencia de la MO (Figura 2). Los nutrientes de mayor concentración en la parte superficial del suelo fueron  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{++}$  y  $\text{PO}_4$  (Figuras 4, 5 y 7). El uso del suelo homogeneizó la distribución de los nutrientes en el perfil, principalmente el  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$  y NT (Figuras 5, 6 y 9).

Todos los nutrientes presentaron un cambio con el tiempo de uso. En el primer año, existió un aumento importante debido a la incorporación de cenizas por la roza-tumba-quema. El aumento más marcado se dió en  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{PO}_4$  y PT (Figuras 12, 13, 15, 16 y 17). Después de este primer año, existió una reducción debido a la intensidad del manejo. Los nutrientes que presentaron la pérdida más importante fueron  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{PO}_4$ , PT y NT.

La pérdida de nutrientes no fue igual en las diferentes unidades del relieve. La MO,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{++}$  y  $\text{Mg}^{++}$  fueron los nutrientes en los que las diferencias por el relieve fueron importantes. El pie de ladera tuvo significativamente mayor concentración que la ladera ( $p = 0.05$ ; Tabla 4), esto es una evidencia de que la erosión del suelo es uno de los procesos importantes en la pérdida de nutrientes. El cambio de concentración de nutrientes debido a la influencia de la interacción entre el relieve y el tiempo de uso se dió solamente en  $\text{Na}^+$  y NT (Tabla 2). El  $\text{Na}^+$  presentó una mayor concentración en los pies de ladera al aumentar la edad de manejo. El NT en la cresta y ladera presentaron valores mayores a mayor tiempo de manejo, solamente en la profundidad de 6-8 cm (Figura 9) y el resto de las profundidades presentaron la tendencia general.

La parcela con más tiempo de uso presentó menor concentración de nutrientes en el suelo con respecto a la selva. Solamente el  $\text{Na}^+$  y el  $\text{K}^+$  en la parcela de 11 años no alcanzaron valores inferiores a los de la selva (Figura 18a). En los primeros dos centímetros es donde las pérdidas fueron más marcadas, destacando la pérdida de  $\text{MO}$ ,  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{PT}$  y  $\text{NT}$  (Figura 18). En las otras dos profundidades, los nutrientes que alcanzaron valores por debajo a los de la selva fueron  $\text{MO}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{PO}_4$  y  $\text{PT}$  (Figuras 19 y 20). En general, los nutrientes alcanzaron valores inferiores a la selva en la parcela de 7 años de uso y en el caso del  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{PO}_4$  y  $\text{PT}$  tuvieron valores inferiores en la parcela desde los 3 años.

En la tabla 5 se presentan los valores de erosión neta. No presentaron una clara tendencia con respecto al relieve y al tiempo de uso. Esto está asociado a la alta variabilidad de los datos debido a las características propias del método utilizado (ver capítulo 6). Por esta alta variabilidad se presentan las tasas máximas corregidas de erosión, estas estuvieron por arriba de los valores de la erosión que se presentaron en la selva y los valores de erosión tolerable (Tabla 5).

## DISCUSION

Existen varios trabajos que reportan un aumento de nutrientes en el suelo debido a la quema de la vegetación en las zonas tropicales (Ramakrishnan y Toky, 1981; Andriesse y Koopmans, 1984; Adedeji, 1984; Bruijnzeel, 1990). En una revisión sobre los efectos de la transformación de los ecosistemas tropicales secos, Maass (1991) reporta que los nutrientes que más se incorporan al suelo después por la roza-tumba-quema son  $\text{Ca}^{++}$  y  $\text{Mg}^{++}$ , seguidos por el  $\text{K}^+$  y el fósforo disponible. En este tipo de ecosistemas, la mayor proporción de los cationes se encuentran en la biomasa, que son liberados por dicho manejo (Maass, op cit.). En cambio, la fuente más importante del fósforo disponible es la  $\text{MO}$  del suelo; sin embargo, su disponibilidad disminuye rápidamente por la inmovilización de los microorganismos del suelo o por la formación de compuestos estables con  $\text{Al}$  y  $\text{Fe}$  (Andriesse y Koopmans, 1984; Allen, 1985). Los resultados del presente trabajo apoyan a lo anterior, ya que los nutrientes que más aumentaron fueron  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{PO}_4$  y  $\text{PT}$ .

La cantidad total de nutrientes liberados por la quema no es incorporada al suelo, ya que existen pérdidas por volatilización, lixiviación y erosión de cenizas. La proporción que se incorpora al suelo depende de la capacidad de intercambio catiónico del suelo y de la susceptibilidad a la erosión. En este agroecosistema, la pérdida de nutrientes debe ser alta antes de su incorporación al suelo, debido a la baja disponibilidad de superficies de intercambio catiónico (el porcentaje de arcillas fue entre 23 y 26% y la concentración de la materia orgánica fue alrededor del 5%) y a la alta erodabilidad del ecosistema (erosividad alta de la lluvia, dominancia de pendientes inclinadas y suelos poco estructurados). González-Flores (1992)

estimó una reducción del 46% (d.s.: 37) de la profundidad de la capa de cenizas, después de 62 días a la quema en Chamela, Jalisco.

Los nutrientes que son incorporados al suelo disminuyen debido al uso continuo de las parcelas (Asamoá, 1980; Allen, 1985; Aweto 1981). Los que presentan pérdidas más marcadas fueron  $K^+$ ,  $Ca^{++}$ ,  $PO_4$ ,  $PT$  y  $NT$ , coincidiendo con lo reportado en ecosistemas similares (Adedeji, 1984). Un componente importante en el suelo es la  $MO$ , cuya reducción también está afectada por el uso continuo del ecosistema (Bauer y Black, 1981; Voroney et al., 1981; Srivastava y Singh, 1989). La reducción de la materia orgánica se debe al cambio en la velocidad de los procesos físicos y biológicos del suelo (Srivastava y Singh, 1989; Voroney et al., 1981) y a la erosión, que la remueve selectivamente (Lal, 1985). A pesar de que la reducción de la  $MO$  no fue tan dramática, esta puede cambiar otras características del suelo que afectan la disponibilidad de nutrientes, tales como aumentar el estrés hídrico (Siebert y Scott, 1990) y disminuir la capacidad de intercambio catiónico (Brams, 1975; Allen, 1985; Lal y Kang, 1982; Sanchez, 1976). Sin embargo, la degradación de la materia orgánica no solamente está asociada a su pérdida, sino a un cambio en su calidad. En el presente agroecosistema se dió una reducción y un cambio de la calidad, por la sustitución de la materia orgánica remanente de la selva por la incorporada por los pastos (ver capítulo 8).

Entre los principales factores de la disminución de la fertilidad del suelo está la erosión. El efecto de la pérdida del suelo superficial es más pronunciado en los ecosistemas tropicales, ya que los nutrientes se concentran en las partes superficiales (Siebert y Scott, 1990; Hornung, 1990). En el presente estudio, el  $K^+$ ,  $Ca^{++}$  y  $PO_4$  se distribuyeron en los primeros centímetros del suelo y los dos últimos presentaron la reducción más importante con el tiempo de uso. Maass et al. (1988) en el mismo sitio, reportan que la salida de los nutrientes por erosión es más importante que los disueltos en el agua de la escorrentía superficial, que sólo representó el 3%. También mencionan que la concentración en los sedimentos erosionados en relación con la del agua de la escorrentía, fue dos ordenes de magnitud mayor en el caso de  $N$ ,  $P$ ,  $Ca^{++}$  y  $Mg^{++}$  y un orden de magnitud mayor de  $K^+$  y  $Na^+$ .

Las tasas máximas de erosión encontradas en los sitios con manejo son mayores que las de la selva no perturbada. Existen dos evidencias indirectas de la importancia de la erosión: la compactación del suelo y las diferencias de la fertilidad del suelo en las unidades del relieve. Con respecto a la primera, se encontró un aumento de densidad aparente del 10% después de 11 años de uso, debido muy probablemente a la erosión y al pisoteo del ganado. El incremento de la densidad aparente debido al cultivo ya ha sido reportado por otros autores (Bauer y Black, 1981; Voroney et al., 1981; Brown y Lugo, 1990; Srivastava y Singh, 1989). La compactación del suelo reduce además, la

capacidad de infiltración del suelo y promueve la erosión superficial (Lal, 1987).

El relieve también influye en la fertilidad del suelo, siendo esta menor en la ladera con respecto a las otras unidades del relieve. Su efecto ha sido reportado en otros trabajos, donde las zonas con altos niveles de erosión de suelo son las que sufren una mayor pérdida de nutrientes y por lo tanto una reducción en la productividad de los cultivos (Voroney et al., 1981; Stone et al., 1985).

La recuperación de los ciclos biogeoquímicos en un ecosistema depende del re-establecimiento del control biótico de las funciones del ecosistema, tales como la absorción y almacenamiento de nutrientes, la mineralización, la disponibilidad de nutrientes y el control de las pérdidas de nutrientes por erosión (Toky y Ramakrishnan, 1981). En los ecosistemas tropicales, una pequeña proporción de la cantidad total de nutrientes se encuentra en el suelo (Went y Stark, 1968; Jordan et al., 1972). La recuperación está determinada por la intensidad de la degradación del suelo (Buschbacher et al., 1988; Adedeji, 1984). El manejo actual del ecosistema en Chamela, ha transformado su estructura y funcionamiento. Esto trae como consecuencia, una reducción de la cantidad total de nutrientes y, por lo tanto, disminuye su capacidad de recuperación después de la perturbación (O'Neill et al., 1986).

La respuesta a la perturbación por el tiempo de uso no es constante, sino que existen valores umbrales a partir de los cuales se presenta una alta degradación (Bormann et al., 1974). En el presente estudio, la pérdida más importante de nutrientes se reflejó en la parcela de 7 años de uso y en algunos casos en la parcela de 3 años (como el el caso de  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{PO}_4$ , PT y NT). Es en estas parcelas, donde la concentración de nutrientes, a excepción del  $\text{K}^+$ , fue inferior a la encontrada en la selva.

## CONCLUSIONES

Los resultados de este trabajo nos permite concluir lo siguiente:

1. Los valores de pH son significativamente más neutros por la transformación de la selva.
2. Se presentó un aumento de la densidad del suelo con el tiempo de uso de las parcelas, debido principalmente al pisoteo del ganado y a la erosión del suelo.
3. En todos los nutrientes, el efecto de la edad de la parcela y la profundidad (a excepción de  $\text{Na}^+$  y PT) explicaron el mayor porcentaje de la variación de los modelos utilizados.
4. Casi todos los nutrientes excepto  $\text{Na}^+$  y PT se concentraron en los primeros 4 cm del suelo. Esta distribución superficial estuvo asociada a las disponibilidad de las superficies de intercambio catiónico, principalmente de la materia orgánica. Es por esto último, que este agroecosistema es muy susceptible a la pérdida de la capa superficial del suelo por erosión.

5. Se presentó un aumento de nutrientes en el suelo debido a la incorporación por la quema de la vegetación. Los nutrientes que tuvieron un aumento más importante fueron  $K^+$ ,  $Ca^{++}$ ,  $PO_4$  y PT.
6. Las parcelas con mayor tiempo de manejo presentaron una reducción significativa en todos los nutrientes considerados. La disminución más marcada fue en  $K^+$ ,  $Ca^{++}$ ,  $PO_4$ , PT y NT.
7. La MO,  $Na^+$ ,  $K^+$ ,  $Ca^{++}$  y  $Mg^{++}$  presentaron una menor concentración en la ladera con respecto a los pies. Esto es debido a que las laderas representan una zona de pérdida de nutrientes más importante, por lo que son más susceptibles a una mayor degradación.
8. La parcela de 7 años de uso presentó los valores más altos de pérdida de nutrientes del suelo.

#### AGRADECIMIENTOS

A Enrique Solís por su ayuda en los análisis químicos, a Leopoldo Galicia, Alma Rosa Gutiérrez y Pedro Cesar González-Flores por su apoyo en el campo y laboratorio, a Rocío Esteban por su apoyo técnico, a Ramiro Peña por permitirnos usar sus parcelas, y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por su apoyo económico.

#### REFERENCIAS

- Adedeji, F.O. 1984. "Nutrient cycles and successional changes following shifting cultivation practice in moist semi-deciduous forests in Nigeria". Forest Ecology and Management 9: 87-99.
- Andriessse, J.P. and T. Th. Koopmans 1984. "A monitoring study on nutrient cycles in soils used for shifting cultivation under various climatic conditions in tropical Asia. I. The influence of simulated burning on form and availability of plant nutrients" Agriculture, Ecosystems and Environment 12: 1-16.
- Allen, J.C. 1985. "Soil response to forest clearing in the United States and the tropics: geological and biological factors" Biotropica 17: 15-27.
- Asamoah, G.K. 1980. "A survey of nitrogen levels in the major soils of Ghana". In: T. Rosswall (Ed.) Nitrogen cycles in West Africa Ecosystems. Scientific Committee on Problems of Environment/ United Nations Environment Programme, International Nitrogen Unit, Royal Swedish Academy of Sciences, Stockholm. 171-179.
- Aweto, A.O. 1981. "Secondary succession and soil fertility restoration in south-western Nigeria. II. Soil fertility restoration". Journal of Ecology 69: 609-614
- Bauer, A. and A.L. Black 1981. "Soil carbon, nitrogen and bulk density comparison in two cropland tillage systems after 25 years and in virgin grasslands". Soil Sci.Soc. Am. J. 45: 1166-1170.

- 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.
- Bouyoucos, G.J. 1963. "Directions for making mechanical analysis of soils by hydrometer method" Soil Science 32: 25-30.
- Brams, E.A. 1971. "Continuous cultivation of west african soils: organic matter diminution and effects of applied lime and phosphorus" Plant and Soil 35: 401-414.
- Brown S. and A.E. Lugo 1990. "Effects of forest clearing and succession on the carbon and nitrogen content of soils in Puerto Rico and US Virgin Islands" Plant and soil 124: 53-64.
- Bruijnzeel, L.A. 1990. Hydrology of moist tropical forests and effects of conversion: a state of knowledge review. National Committee of the Netherlands, UNESCO, ITC, The International Association of hidrological Sciences. 224 pp.
- Bullock, S.H. 1986. "Climate of Chamela, Jalisco and trends in the south coastal region of Mexico". Arch. Met. Geoph. Biocl. 36: 297-316.
- Buschbacher, R., C. Uhl and E.A.S. Serrao 1988. "Abandoned pastures in eastern amazonia. II. Nutrient stocks in the soil and vegetation" Journal of Ecology 76: 682-699.
- De Ita-Martínez, C., J. Sarukhan and J.M. Maass 1991. "Land use patterns on a tropical deciduous forest ecosystem on the Pacific coast of Jalisco, Mexico". (submitted to publication).
- De Jong, E., H. Villar and J.R. Bettany 1983. "Estimate of soil erosion and deposition for some Saskatchewan soils" Can. J. Soil Sci. 63: 607-617.
- García-Oliva, F., E. Ezcurra and L. Galicia 1991. "Pattern of rainfall distribution in the Central Pacific Coast of Mexico" Geografiska Annaler 73A (3-4): 179-186.
- González, P.C. 1992. El manejo del fuego en el sistema de roza, tumba y quema en la selva baja caducifolia de Chamela, Jalisco. Tesis, Licenciatura, Facultad de Ciencias, UNAM.
- Hornung, M. 1990. "Measurement of nutrient losses resulting from soil erosion". In: A.F. Harrison, P. Inenson and O.W. Heal (Eds.) Nutrient cycling in terrestrial ecosystems. Elsevier Applied Science. 80-102.
- Hurlbert, S.H. 1984. "Pseudoreplication and the design of ecological field experiments" Ecological Monographs 54 (2): 187-211.
- Jordan, C.F., J.R. Kline and D.S. Sasscer 1972. "Relative stability of mineral cycles in forest ecosystem". Am. Natur. 106: 237-253.
- Lal, R. 1985. "Soil erosion and its relation to productivity in tropical soils". In: S.A. El-Swafy, W.C. Moldenhauer and A. Lo (Eds.) Soil erosion and conservation SCSA, Ankeny, IA. 237-247.
- Lal, R. 1987. Tropical ecology and physical edaphology. John and Wiley sons.

- Lal, R. and B.T. Kang 1982. "Management of organic matter in soils of the tropics and subtropics" In: Non-symbiotic Nitrogen Fixation and Organic Matter in the Tropics, Symposium Papers 1, 115-141.
- Lott, E.J. 1985. Listado florístico de la Estación de Biología Chamela, Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Lott, E.J., S.H. Bullock and A. Solís-Magallanes 1987. "Floristic diversity and structure of upland and arroyo forest of coastal Jalisco". Biotropica 19(3): 228-235.
- Maass, J.M., C. Jordan and J. Sarukhan 1988. "Soil erosion and nutrient losses in seasonal tropical agroecosystems under various management techniques". J. Applied Ecology 25: 595-607.
- Maass, J.M. y F. García-Oliva 1990. "La conservación de suelos en zonas tropicales: el caso de México" Ciencia y Desarrollo 15 (90): 21-36.
- Maass, J.M. 1991. "Tropical deciduous forest conversion to pasture and agriculture. Accepted in: Tropical deciduous Forest Ecosystem. H. Mooney, E. Medina and S. Bullock (Eds.), Cambridge University Press.
- Martz, L.W. and E. De Jong 1987. "Using Cesium-137 to assess the variability of net soil erosion and its association with topography in a Canadian prairie landscape" Catena 14: 439-451.
- Nelson, D.W. and L.E. Sommers 1982. "Total carbon and organic matter". In: Methods of soil analysis: chemical and microbiological properties. A.L. Page, R.H. Miller and D.R. Keeney (Eds.). Agronomy 9, part 2, American Society of Agronomy Inc. and Soil Science Society of America. Madison. pp: 539-579.
- O'Neill, R.V., D.L. De Angelis, J.B. Waide, and T.F.H. Allen 1986. A hierarchical concept of ecosystem. Princenton University Press.
- Perkin-Elmer Co. 1976. Analytical methods for atomic absorption spectrophotometry Perkin-Elmer Corporation, Norwalk, Connecticut.
- Ramakrishnan, P.S. and O.P. Toky 1981. "Soil nutrient status of hill agro-ecosystem and recovery pattern after slash and burn agriculture (Jhum) in north-eastern India". Plant and Soil 60: 41-64.
- Sanchez, P.A. 1976. Properties and management of soils in the tropics John Wiley and Sons, 618 pp.
- Siebert, S.F. and T.W. Scott 1990. "Influence of topsoil removal and fertilizer application on peanut yields from an Indonesian Ultisol". Agriculture, Ecosystems and Environment 32: 213-221.
- Srivastava S.C. and J.S. Singh 1989. "Effect of cultivation on microbial carbon and nitrogen in dry tropical forest soil" Biol. Fertil. Soils 8: 343-348.

- Stone, J.R., J.W. Gilliam, D.K. Cassel, R.B. Daniels, L.A. Nelson and H.J. Kleiss 1985. "Effect of erosion and Landscape position on the productivity of Piedmont soils". Soil Sci. Soc. Am. J. 49: 987-991.
- Technicon Industrial System 1977. Technicon Industrial method No. 329-74W/B. Individual/simultaneous determinations of nitrogen and/or phosphorus in BD acid digest. Technicon Industrial system, Tarrytown, N.Y.
- Toky, O.P. and P.S. Ramakrishnan 1981. "Run-off and infiltration losses related to shifting agriculture (Jhum) in Northeastern India". Environmental Conservation 8: 313-321.
- Toledo, V.M., J. Carabias, C. Toledo y C. González-Pacheco 1989. La producción rural en México: alternativas ecológicas Fundación Universo Veintiuno, México. pp 402.
- Toledo, V.M. 1991. "Bio-economic costs of transforming tropical forest to pasture in Latinoamerica". In: T. Dowling, S. Hecht and H. Pearson (Eds.) Development or destruction?. The conversion of tropical forest to pasture in Latin America. Westview Press, New York.
- Uhl, C., R. Buschbacher and E.A.S. Serrao 1988. "Abandoned pastures in eastern amazonia. I. Patterns of plant succession". Journal of Ecology 76: 663-681.
- Voroney, R.P., J.A. Van Veen and E.A. Paul 1981. "Organic C dynamics in grassland soils: 2. Model validation and simulation of the long-term effects of cultivation and rainfall erosion". Can. J. Soil Sci. 61: 211-224.
- Went, F.W. and N. Stark 1968. "Mycorrhiza" BioScience 18: 1035-1039.

Tabla 1.- Medias y error estándar de la inclinación de la pendiente, textura y pH por unidad de relieve y parcelas con distinto tiempo de manejo. C: cresta, L:ladera y P: pie.

UNIDAD RELIEVE Y EDAD	INCLINACION (grados)	TEXTURA		pH
		%ARENAS	%ARCILLAS	
C 0	2.0 (0.71)	59.6 (1.6)	26.4 (0.9)	5.9 (0.11)
L 0	23.9 (3.43)	66.0 (4.2)	24.7 (3.7)	5.8 (0.10)
P 0	23.6 (6.93)	65.3 (0.7)	23.3 (0.7)	6.8 (0.06)
C 1	9.0 (1.52)	56.6 (4.7)	22.0 (1.2)	7.1 (0.05)
L 1	26.3 (0.88)	54.0 (2.0)	23.3 (0.7)	7.2 (0.06)
P 1	11.3 (0.88)	48.0 (0.0)	27.0 (1.0)	7.0 (0.07)
C 3	8.6 (2.60)	57.3 (5.2)	26.0 (2.3)	6.7 (0.05)
L 3	25.3 (1.33)	53.3 (2.7)	28.6 (1.8)	7.9 (0.05)
P 3	8.6 (1.45)	50.6 (1.3)	28.6 (0.7)	6.4 (0.03)
C 7	10.0 (3.05)	48.0 (4.2)	28.6 (1.3)	7.3 (0.03)
L 7	23.5 (2.96)	53.3 (4.8)	26.6 (1.8)	6.9 (0.03)
P 7	9.3 (5.81)	60.6 (7.7)	25.3 (2.7)	7.5 (0.02)
C 11	4.3 (0.88)	48.6 (3.7)	28.6 (0.7)	6.5 (0.04)
L 11	18.0 (1.15)	50.0 (3.1)	30.0 (3.1)	6.2 (0.09)
P 11	2.6 (0.66)	57.3 (1.8)	26.6 (0.7)	6.4 (0.03)

Tabla 2.- Nivel de significancia (P) y porcentaje de la varianza explicada (R<sup>2</sup>) de los principales factores del ANOVA por nutriente, de los primeros 6 cm del suelo, de los perfiles del suelo en parcelas distintas en su tiempo de uso en Chamela, Jalisco, México.

Nutriente	EDAD	PROFUNDIDAD	RELIEVE	EDAD*RELIEVE
M.O.	0.004 (0.101)	<0.001 (0.691)	0.015 (0.111)	0.042 (0.054)
Na <sup>+</sup>	<0.001 (0.403)	0.347	<0.001 (0.403)	<0.001 (0.101)
K <sup>+</sup>	<0.001 (0.216)	<0.001 (0.328)	0.001 (0.202)	0.018 (0.067)
Ca <sup>++</sup>	<0.001 (0.704)	<0.001 (0.166)	0.009 (0.068)	0.016 (0.034)
Mg <sup>++</sup>	<0.001 (0.418)	<0.001 (0.314)	0.043 (0.105)	<0.001 (0.104)
PO <sub>4</sub>	<0.001 (0.597)	<0.001 (0.299)	0.214	0.817
PT	<0.001 (0.873)	0.968	0.139	0.102
NT	0.001 (0.204)	<0.001 (0.370)	0.150	<0.001 (0.210)

Tabla 3.- Promedios (error estándar) de los principales nutrientes (kg ha<sup>-1</sup>) en el perfil del suelo cada 2 cm, en parcelas con distinto tiempo de uso, en Chamela, Jalisco, México.

MATERIA ORGANICA (kg ha <sup>-1</sup> )					
cm	SELVA	UNO	TRES	SIETE	ONCE
2	9389 (824)	10815 (1193)	10481 (1296)	8130 (1004)	8379 (733)
4	5735 (829)	8910 (1623)	7378 (1287)	5917 ( 666)	6135 (419)
6	4632 (711)	5876 ( 743)	6375 (1124)	4725 ( 649)	4481 (504)
8	3799 (549)	4917 (1291)	4675 ( 849)	5116 ( 699)	3579 (298)
10	3949 (466)	4018 (1012)	4156 ( 617)	4282 ( 806)	3749 (426)
12	2594 (477)	2470 ( 823)	2459 ( 350)	3978 (1188)	3704 (410)
Total 30098		37006	35524	32148	30027
Na <sup>+</sup> (kg ha <sup>-1</sup> )					
cm	SELVA	UNO	TRES	SIETE	ONCE
2	26 (1.4)	32 (3.9)	30 (1.3)	25 (1.4)	24 (2.4)
4	21 (1.2)	28 (1.9)	29 (1.8)	25 (1.7)	25 (2.6)
6	19 (0.7)	29 (1.5)	29 (3.1)	25 (1.4)	23 (2.5)
8	18 (0.7)	25 (1.4)	30 (2.6)	25 (1.3)	22 (4.6)
10	17 (1.5)	18 (3.9)	31 (1.9)	24 (1.9)	26 (3.2)
12	19 (0.9)	24 (3.6)	34 (2.8)	28 (2.3)	29 (4.9)
Total 120		156	183	152	149
K <sup>+</sup> (kg ha <sup>-1</sup> )					
cm	SELVA	UNO	TRES	SIETE	ONCE
2	42 (4.4)	185 (75.9)	150 (29.3)	94 (17.3)	79 (11.8)
4	27 (3.2)	60 (16.1)	112 (15.9)	79 (11.7)	48 ( 5.5)
6	25 (1.3)	32 ( 5.9)	90 ( 9.5)	62 ( 8.5)	42 ( 4.2)
8	24 (4.9)	14 ( 4.0)	83 ( 7.5)	72 ( 9.3)	46 ( 4.9)
10	25 (7.0)	18 ( 4.6)	67 ( 4.7)	52 ( 8.8)	27 ( 4.4)
12	28 (8.6)	17 ( 5.3)	61 ( 9.3)	51 ( 8.6)	27 ( 9.2)
Total 171		326	563	410	269
Ca <sup>++</sup> (kg ha <sup>-1</sup> )					
cm	SELVA	UNO	TRES	SIETE	ONCE
2	308 (47)	939 ( 83)	753 (86)	467 (69)	241 (44)
4	209 (40)	732 (131)	482 (50)	387 (66)	179 (32)
6	145 (29)	749 ( 82)	399 (57)	359 (44)	153 (26)
8	118 (24)	582 ( 92)	338 (49)	369 (58)	155 (28)
10	116 (32)	582 ( 81)	266 (31)	339 (75)	164 (49)
12	86 (17)	504 ( 83)	249 (17)	312 (80)	148 (27)
Total 982		4088	2487	2233	1040

Tabla 3.- Continuación.

Mg <sup>++</sup> (kg ha <sup>-1</sup> )					
cm	SELVA	UNO	TRES	SIETE	ONCE
2	75 (8.8)	79 (6.1)	79 (8.3)	62 (6.7)	55 ( 5.9)
4	59 (6.8)	78 (6.7)	61 (5.5)	52 (4.3)	40 ( 5.8)
6	55 (5.9)	78 (6.6)	53 (4.8)	49 (3.9)	37 ( 6.0)
8	47 (5.6)	85 (7.1)	57 (4.6)	55 (5.9)	42 ( 7.0)
10	44 (5.5)	79 (6.5)	59 (4.8)	42 (8.3)	43 ( 8.8)
12	44 (5.7)	78 (6.7)	64 (5.8)	42 (5.4)	49 (12.9)
Total 324		477	373	302	266
PO <sub>4</sub> (kg ha <sup>-1</sup> )					
cm	SELVA	UNO	TRES	SIETE	ONCE
2	4.4 (0.8)	23.5 (5.5)	11.7 (2.0)	6.6 (1.9)	2.5 (0.5)
4	3.0 (0.5)	13.8 (1.9)	5.6 (1.1)	3.3 (1.5)	1.0 (0.3)
6	1.9 (0.4)	9.4 (1.5)	3.9 (0.7)	2.3 (0.9)	0.9 (0.3)
8	1.4 (0.4)	6.4 (1.2)	2.6 (0.5)	2.3 (0.7)	0.7 (0.2)
10	1.9 (0.9)	5.9 (0.9)	1.9 (0.5)	1.8 (0.8)	0.6 (0.3)
12	1.2 (0.4)	5.4 (2.4)	1.4 (0.4)	1.9 (0.9)	1.0 (0.8)
Total 13.8		64.4	27.1	18.2	6.70
PT (kg ha <sup>-1</sup> )					
cm	SELVA	UNO	TRES	SIETE	ONCE
2	71 (10.5)	176 (17.2)	65 (11.8)	47 ( 5.4)	38 ( 5.9)
4	67 (17.9)	163 (17.8)	58 ( 7.5)	53 ( 5.2)	51 ( 9.5)
6	70 (23.1)	161 (26.9)	65 ( 8.8)	61 (15.3)	28 ( 2.6)
8	54 (14.9)	189 (44.8)	54 (14.4)	49 ( 4.9)	38 ( 6.5)
10	43 ( 5.9)	119 (16.5)	42 ( 5.2)	37 ( 3.1)	31 ( 3.5)
12	47 ( 8.1)	95 (23.7)	35 ( 4.5)	43 ( 8.6)	52 (25.3)
Total 352		903	319	290	238
NT (kg ha <sup>-1</sup> )					
cm	SELVA	UNO	TRES	SIETE	ONCE
2	412 (29)	526 (76)	343 (52)	337 (43)	304 (28)
4	278 (33)	457 (39)	292 (46)	307 (34)	324 (58)
6	211 (37)	292 (47)	248 (31)	291 (33)	336 (69)
8	132 (32)	257 (32)	243 (41)	298 (34)	319 (82)
10	159 (22)	178 (33)	195 (23)	219 (27)	291 (53)
12	117 (28)	151 (33)	201 (41)	183 (24)	143 (52)
Total 1309		1861	1522	1635	1717

Tabla 4.- Promedio (error estándar) de los nutrientes (kg ha<sup>-1</sup>), cuando el relieve era un factor importante en el modelo (ANOVA). La letras corresponden a los grupos formados con la prueba de Tukey (p=0.05) entre unidades del relieve.

Nutriente	Cresta	Pie	Ladera
M.O.	7653.8 (3576)a	7647.5 (3775)a	6170.7 (2.605)b
Na <sup>+</sup>	24.7 (8)b	29.3 (7)a	23.6 (5)b
K <sup>+</sup>	102.9 (124)a	66.4 (30)b	56.6 (41)b
Ca <sup>++</sup>	477.9 (375)a	458.1 (283)a	364.3 (239)b
Mg <sup>++</sup>	59.9 (25)b	65.8 (19)b	56.9 (22)b

Tabla 5.- Valores de erosión neta en parcelas con distinto tiempo de manejo estimados con Cs-137. La tasa máxima está corregida restándole a la tasa máxima de erosión, la tasa promedio de pérdida en la selva.

Relieve	Media (t ha <sup>-1</sup> )	Desviación Estandar	Tasa Máxima (t ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )
L0	442.97	63.612	25.80
P0	-154.48	1014.755	26.65
L1	422.18	127.314	535.59
P1	127.58	308.328	531.10
L3	85.94	453.704	99.00
P3	- 72.89	440.288	50.60
L7	293.26	416.246	88.00
P7	257.94	502.836	83.94
L11	221.96	153.733	10.85
P11	684.54	327.146	62.63

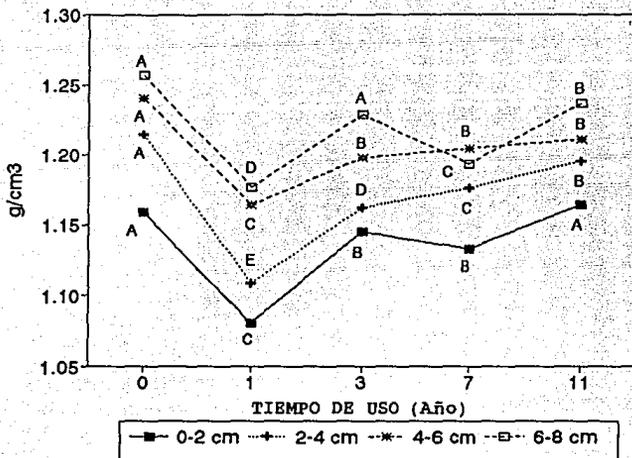


Figura 1.- Densidad aparente por profundidad en parcelas con distinto tiempo de uso. Las letras corresponden a los grupos formados con Tukey ( $p=0.05$ ).

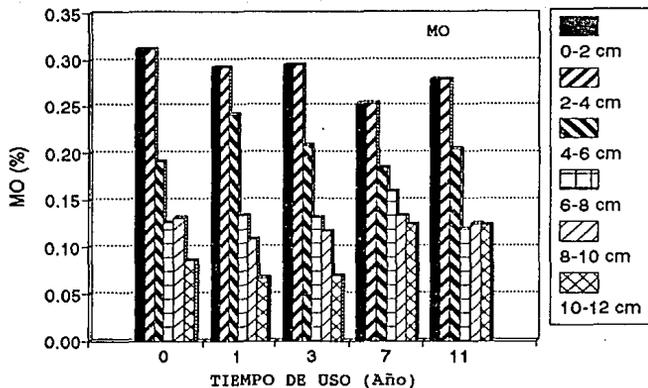


Figura 2.- Distribución relativa de la Materia Orgánica en el perfil del suelo en parcelas con distinto tiempo de uso.

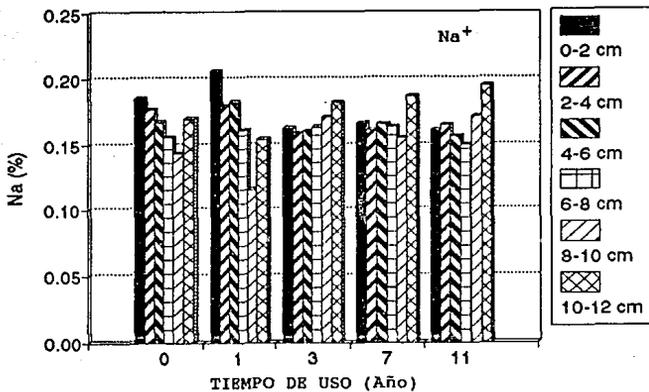


Figura 3.- Distribución relativa de Na en el perfil del suelo en parcelas con distinto tiempo de uso.

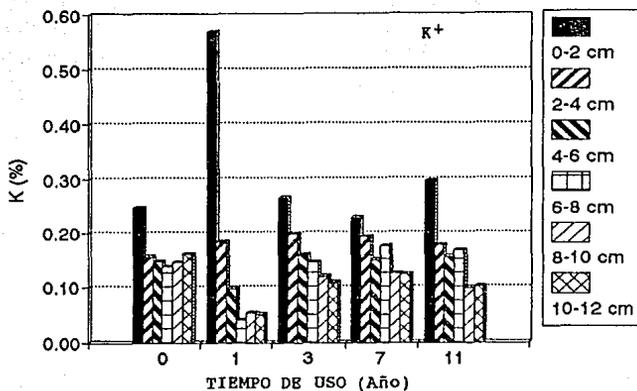


Figura 4.- Distribución relativa de K en el perfil del suelo en parcelas con distinto tiempo de uso.

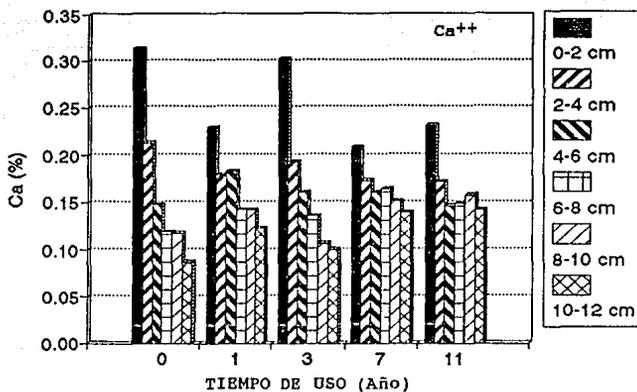


Figura 5.- Distribución relativa de Ca en el perfil del suelo en parcelas con distinto tiempo de uso.

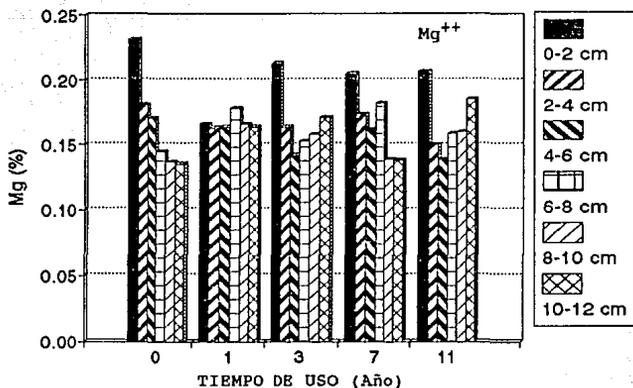


Figura 6.- Distribución relativa de Mg en el perfil del suelo en parcelas con distinto tiempo de uso.

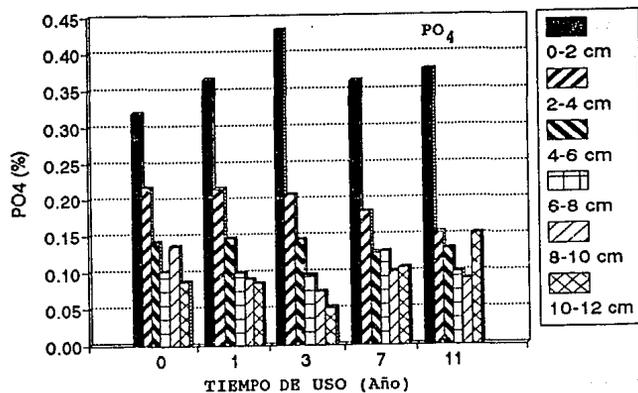


Figura 7.- Distribución relativa de PO<sub>4</sub> en el perfil del suelo en parcelas con distinto tiempo de uso.

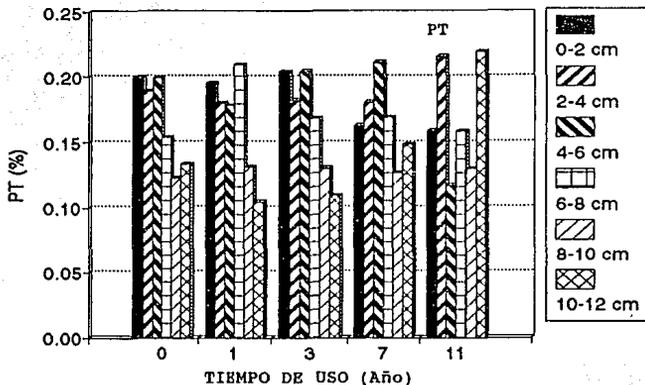


Figura 8.- Distribución relativa de Fósforo Total en el perfil del suelo en parcelas con distinto tiempo de uso.

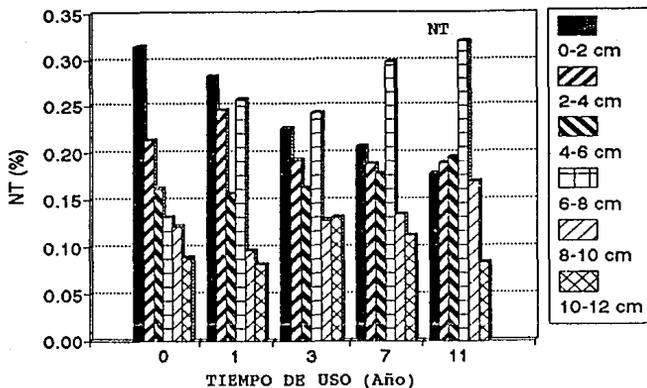


Figura 9.- Distribución relativa de Nitrógeno Total en el perfil del suelo en parcelas con distinto tiempo de uso.

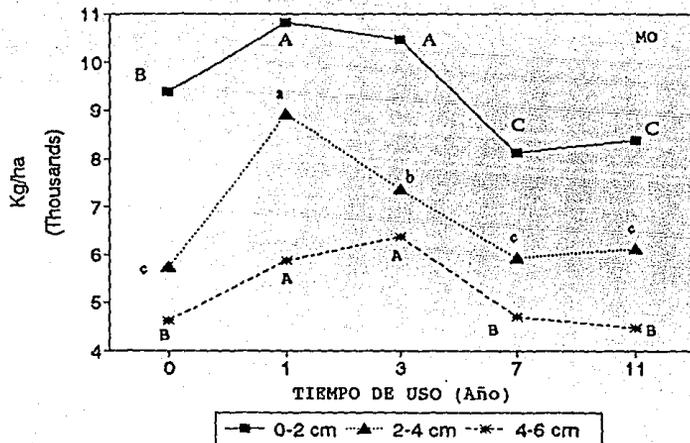


Figura 10.- Promedios de la Materia Orgánica por profundidad en parcelas con distinto tiempo de uso. Las letras corresponden a los grupos formados con la prueba de Tukey ( $p=0.05$ ) en cada profundidad.

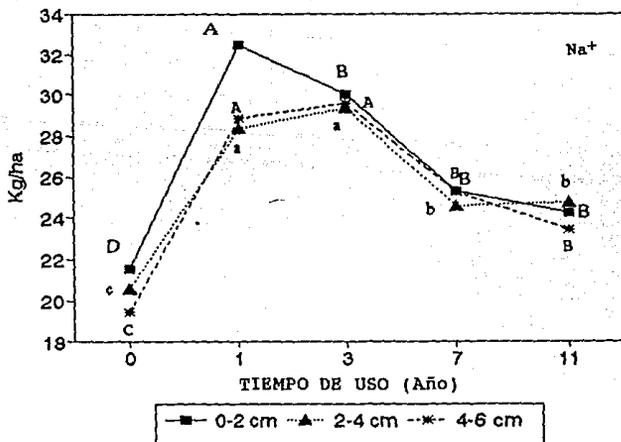


Figura 11.- Promedios de Na por profundidad en parcelas con distinto tiempo de uso. Las letras corresponden a los grupos formados con la prueba de Tukey ( $p=0.05$ ) en cada profundidad.

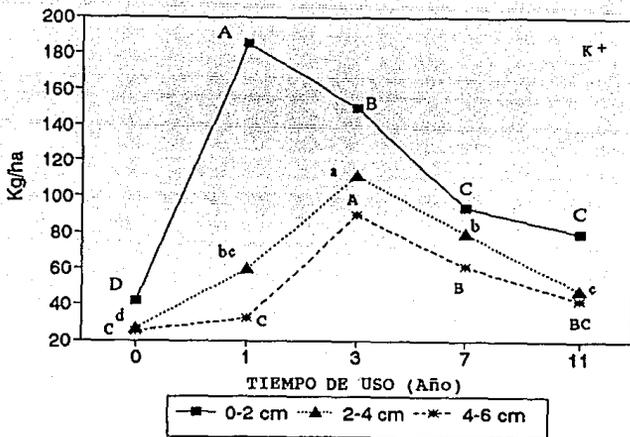


Figura 12.- Promedios de K por profundidad en parcelas con distinto tiempo de uso. Las letras corresponden a los grupos formados con la prueba de Tukey ( $p=0.05$ ) en cada profundidad.

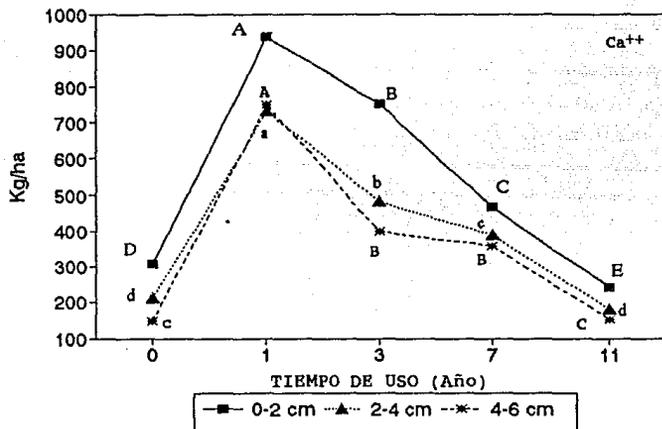


Figura 13.- Promedios de Ca por profundidad en parcelas con distinto tiempo de uso. Las letras corresponden a los grupos formados con la prueba de Tukey ( $p=0.05$ ) en cada profundidad.

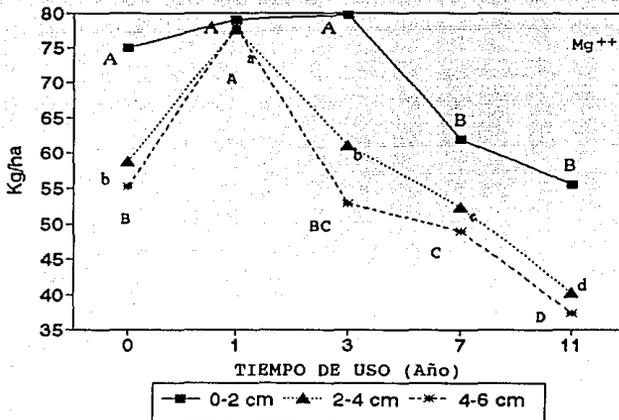


Figura 14.- Promedios de Mg por profundidad en parcelas con distinto tiempo uso. Las letras corresponden a los grupos formados con la prueba de Tukey ( $p=0.05$ ) en cada profundidad.

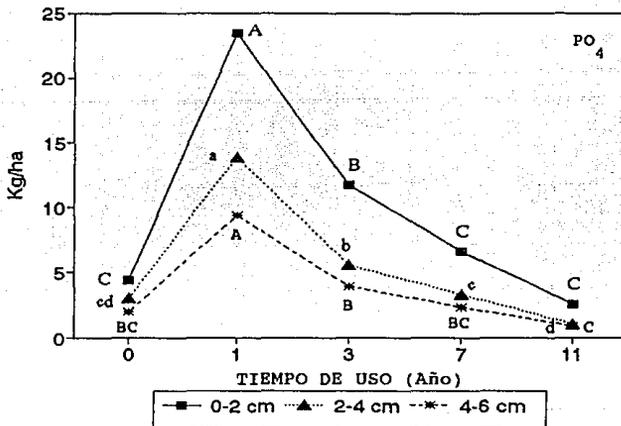


Figura 15.- Promedios de PO<sub>4</sub> por profundidad en parcelas con distinto tiempo uso. Las letras corresponden a los grupos formados con la prueba de Tukey ( $p=0.05$ ) en cada profundidad.

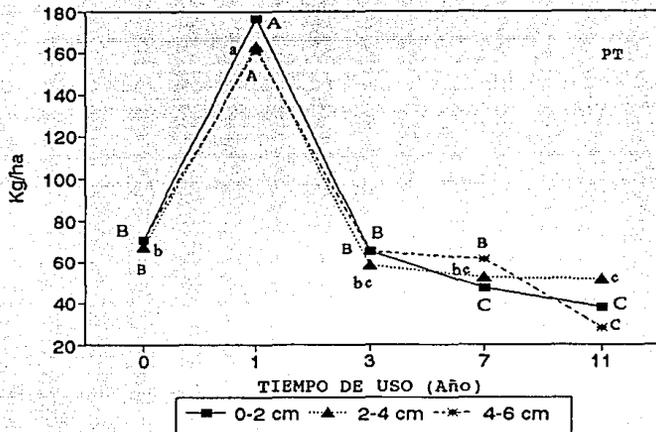


Figura 16.- Promedios de Fósforo Total por profundidad en parcelas con distinto tiempo de uso. Las letras corresponden a los grupos formados con la prueba de Tukey ( $p < 0.05$ ) en cada profundidad.

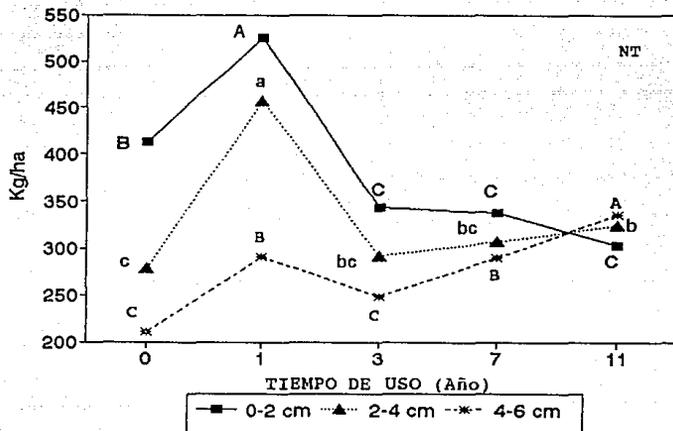


Figura 17.- Promedios de Nitrógeno Total por profundidad en parcelas con distinto tiempo de uso. Las letras corresponden a los grupos formados con la prueba de Tukey ( $p = 0.05$ ) en cada profundidad.

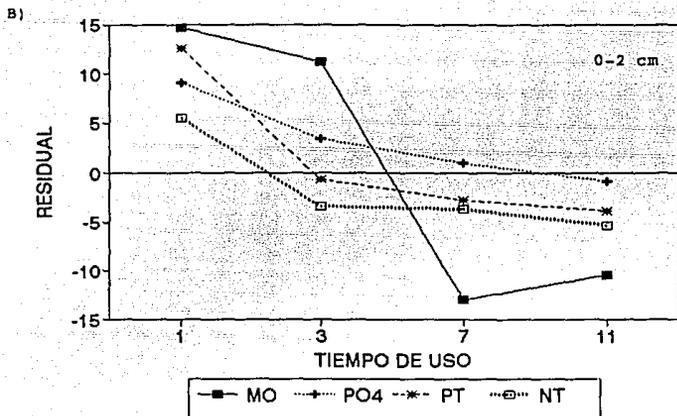
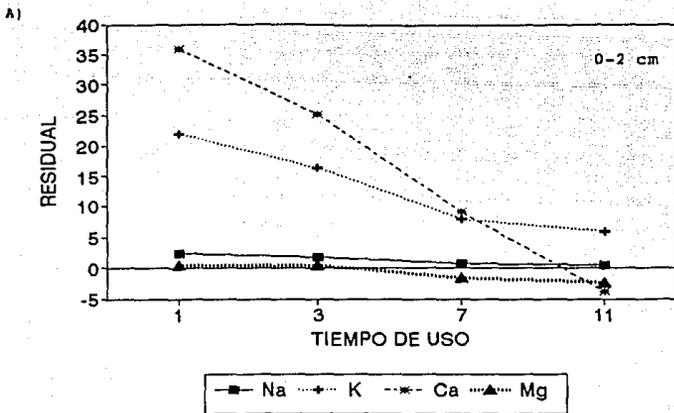


Figura 18.- Valores relativos (residual) de la cantidad de nutrientes de 0-2 cm en el suelo, con respecto a la selva, de parcelas con distinto tiempo de uso. El residual se explica en el texto.

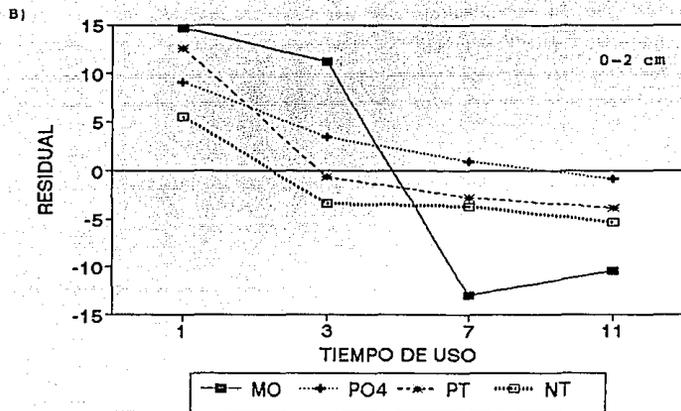
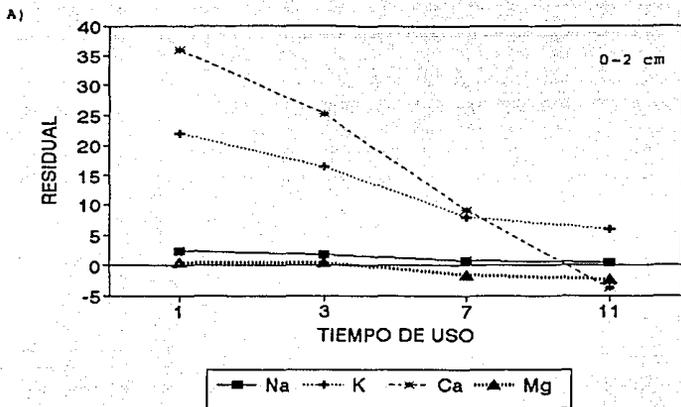


Figura 18.- Valores relativos (residual) de la cantidad de nutrientes de 0-2 cm en el suelo, con respecto a la selva, de parcelas con distinto tiempo de uso. El residual se explica en el texto.

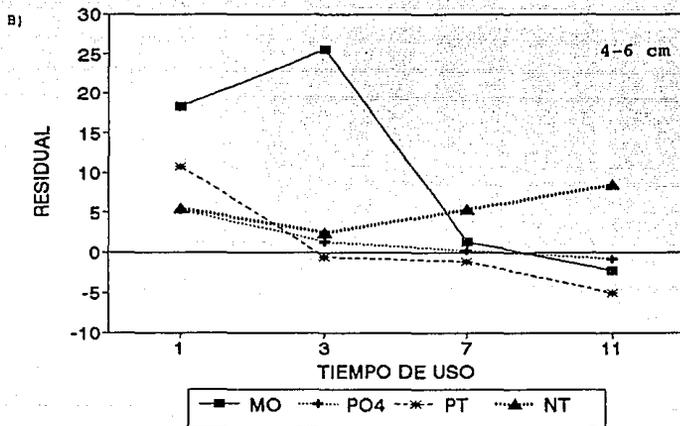
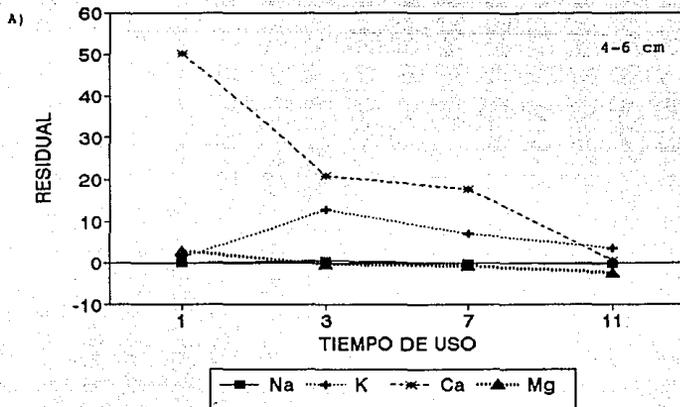


Figura 20.- Valores relativos (residual) de la cantidad de nutrientes de 4-6 cm en el suelo, con respecto a la selva, de parcelas con distinto tiempo de uso. El residual se explica en el texto.

## **CAPITULO VIII**

**CAMBIO DE LAS RELACIONES DE ISOTOPOS ESTABLES DE CARBON EN LA  
MATERIA ORGANICA DEL SUELO DEBIDO AL MANEJO DE UN ECOSISTEMA  
TROPICAL ESTACIONAL, MEXICO**

# CAMBIO DE LAS RELACIONES DE ISOTOPOS ESTABLES DE CARBON EN LA MATERIA ORGANICA DEL SUELO DEBIDO AL MANEJO DE UN ECOSISTEMA TROPICAL ESTACIONAL, MEXICO.

F. García-Oliva<sup>1</sup>, J.M. Maass<sup>1</sup>, P. Morales<sup>2</sup>, I. Casar<sup>2</sup> y E. Ezcurra<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> CENTRO DE ECOLOGIA, UNAM.

<sup>2</sup> INSTITUTO DE FISICA, UNAM.

## RESUMEN

Se estimaron los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  para la materia orgánica del suelo (MOS) y el mantillo en una cronosecuencia de uso agropecuario en un ecosistema tropical estacional, para conocer como es la substitución de la MOS debido al cambio de la cobertura vegetal. Los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  del mantillo de la selva sin perturbar y del pastizal correspondieron a plantas  $\text{C}_3$  y  $\text{C}_4$  respectivamente. La MOS en los primeros 6 cm de profundidad en la parcela con 7 años de uso fueron significativamente diferentes a los de la selva. Sin embargo, la máxima substitución de la MOS fue del 50% en la parcela con 11 años de uso. La MOS a mayor profundidad no difirió con respecto a la selva. Se encontraron diferencias significativas de los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  de la MOS superficial entre ladera y cresta. El cambio más marcado ocurrió en las crestas. En las laderas la pérdida de MOS superficial por erosión puede ser más importante que la substitución por cambio de vegetación. La MOS de la selva debe tener un papel muy importante en regular la degradación del suelo en este ecosistema.

Palabras Clave: Agroecosistema tropical estacional, cronosecuencia,  $\delta^{13}\text{C}$ , erosión, materia orgánica del suelo, plantas  $\text{C}_3$  y  $\text{C}_4$ .

## INTRODUCCION

La transformación de los ecosistemas tropicales genera una reducción de los nutrientes del suelo, así como también, de su materia orgánica (Lal, 1987; Srivastava y Singh, 1989). En condiciones de uso continuo, la materia orgánica de la selva es sustituida por la del cultivo (Schwartz *et al.*, 1986).

Este cambio de la materia orgánica es posible determinarlo por medio de la relación de los isótopos estables del carbono (Ehleringer y Rundel, 1989). Durante la fotosíntesis, las plantas  $\text{C}_4$  discriminan menos al isótopo  $^{13}\text{C}$  que las plantas  $\text{C}_3$  (Vogel, 1980; O'Leary, 1981). Esta diferente discriminación, se observa en la relación entre los isótopos  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  (expresados como  $\delta^{13}\text{C}$ ) de los tejidos de las plantas. Los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  de las plantas  $\text{C}_3$  presentan un rango de  $-23$  a  $-34$  ‰ y de las plantas  $\text{C}_4$  de  $-9$  a  $-17$  ‰ (Smith y Epstein, 1971).

Los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  de la materia orgánica del suelo principalmente en la partes superficiales pueden reflejar el tipo de plantas que le dieron origen (Dzurec et al., 1985; Volkoff y Cerri, 1987). La mayoría de las especies arbóreas de las selvas tropicales son  $\text{C}_3$  y las gramíneas tropicales son  $\text{C}_4$  (Schwartz et al., 1986; Volkoff y Cerri, 1987; Mooney et al., 1989). Así se esperaría que el valor de  $\delta^{13}\text{C}$  de la materia orgánica en el suelo fuera semejante a la vegetación que le ha dado origen.

Actualmente, la transformación de los ecosistemas tropicales estacionales en México es hacia pasturas con predominancia de plantas  $\text{C}_4$  (Toledo et al., 1989). El presente trabajo tiene como objetivo determinar el cambio de la materia orgánica en una cronosecuencia agropecuaria de un agroecosistema tropical estacional, en la región de Chamela, México.

## METODO

### Sitio de Estudio

Chamela se localiza en la Costa del Pacífico en el Estado de Jalisco, México ( $19^{\circ}29'\text{N}$  y  $105^{\circ}01'\text{W}$ ). El relieve se caracteriza por la dominancia de lomeríos bajos con pendientes convexas con marcada inclinación ( $>20^{\circ}$ ). Los suelos son jóvenes y con estructuras poco desarrolladas (Entisoles, USDA).

La temperatura media anual es de  $24.9^{\circ}\text{C}$  y la precipitación media anual es de 748 mm, concentrándose en los meses de verano (Bullock, 1986). La vegetación predominante es una selva baja caducifolia, con 758 especies herbáceas y arbóreas (Lott, 1985). La mayoría de las especies arbóreas tienen una estrategia fotosintética  $\text{C}_3$  (con un rango de  $\delta^{13}\text{C}$  entre  $-24.8$  y  $-30.0$  ‰; Mooney et al., 1989). La selva es comunmente transformada por medio de roza-tumba-quema. El maíz (*Zea mays* L.) es cultivado por uno o dos años y luego es sustituido por los pastos guinea (*Panicum maximum* Jacq.) y buffel (*Cenchrus ciliaris* L.) para forraje (De Ita-Martínez et al., 1991).

### Muestreo

Las muestras del suelo se obtuvieron en una cronosecuencia para uso agropecuario: selva, 1, 3, 7 y 11 años. Este diseño experimental presenta pseudoreplicación; es decir, el efecto de tiempo de uso puede estar confundido con el factor sitio para cada una de las parcelas (Hurlbert, 1984). Este problema es común en trabajos a esta escala, por la dificultad de encontrar suficientes réplicas con características muy similares. Este tipo de diseño ha recibido el nombre de "falsas series de tiempo" (Bruijnzeel, 1990). Se colectaron tres perfiles en la cresta y tres en la ladera por parcela. Los perfiles se tomaron en dos profundidades cada 6 cm.

### Preparación de las muestras

Las muestras de suelos se secaron y se homogeneizaron en un tamiz de 0.12 mm de abertura. Posteriormente cada muestra se le agregó agua y se centrifugó por 5 minutos a una velocidad de 5000

rpm para separar la materia orgánica del suelo de la materia orgánica no integrada tirando el sobrenadante. Después las muestras se secaron a 100°C por 48 horas. Se tomaron muestras de mantillo de cada una de las parcelas divididas en cresta y ladera. Se realizó una muestra compuesta por unidad de relieve y tiempo de uso. Las muestras se secaron a 100°C hasta que alcanzaron peso constante. Finalmente el material fue molido y homogeneizado.

### Espectrometría de Masas

La determinación de la relación de los isótopos estables del CO<sub>2</sub> generado en la combustión de las muestras (Sofer, 1980), se obtuvo con un espectrómetro de masas FINNINGAN MAT 250. La composición isotópica de la muestra se calculó con la siguiente expresión:

$$\delta^{13}\text{C} = (\text{Rm}/\text{Rs}-1) * 1000 \quad [^{\circ}/_{\infty}]$$

donde  $\delta^{13}\text{C}$  es la relación isotópica en unidades relativas al estándar, Rm y Rs son la relación de los isótopos estables en la muestra y en el estándar, respectivamente. El estándar utilizado fue el PDB (-28.10 ‰).

### Análisis de los datos

Se realizó un ANOVA con dos factores: tiempo de manejo y relieve. Se estimó la proporción de la MO del suelo de distinto origen (selva y pastura) en la cronosecuencia. Para ello se utilizó la expresión propuesta por Cerri (1986):

$$X(\%) = (\delta - \delta_0 / \delta_1 - \delta_0) * 100 \quad Y(\%) = 100 - X$$

donde X(%): porcentaje de la materia orgánica derivada del pasto, Y(%): porcentaje de la materia orgánica derivada de la selva,  $\delta$ :  $\delta^{13}\text{C}$  del suelo de la parcela muestreada,  $\delta_0$ :  $\delta^{13}\text{C}$  del suelo de la selva,  $\delta_1$ :  $\delta^{13}\text{C}$  del mantillo del pasto (-15.3 ‰). La proporción de MO (t ha<sup>-1</sup>) de distinto origen se calculó por medio de:

$$\text{MOP} = (X/100) * \text{MO}$$

$$\text{MOS} = (Y/100) * \text{MO}$$

donde MOP es la cantidad de la materia orgánica derivada del pasto (t ha<sup>-1</sup>) y MOS es la cantidad de la materia orgánica derivada de la selva (t ha<sup>-1</sup>).

### RESULTADOS

En la tabla 1 se presentan los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  en el mantillo y suelo, de la selva sin perturbar y de las parcelas transformadas. Los valores del mantillo de la selva estuvieron dentro del rango de las plantas C<sub>3</sub> de las principales especies de árboles, arbustos y bejucos de este ecosistema (Mooney *et al.*, 1989). En cambio, los valores del maíz y los pastos cultivados estuvieron dentro del rango reportados para las especies C<sub>4</sub>. La diferencia de los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  de las especies de la selva y las plantas cultivadas permite establecer el origen de la materia orgánica del suelo.

Utilizando los valores de los primeros 6 cm del suelo, el ANOVA fue significativo para el tiempo de uso (p<0.0001, R<sup>2</sup>=0.77)

y para la interacción entre tiempo y relieve ( $p=0.021$ ,  $R^2=0.17$ ). La parcelas de siete y once años presentaron diferencias significativas con respecto a la selva, siendo más marcadas en la cresta (Fig. 1). Solamente en la parcela de once años, la cresta y ladera fueron significativamente diferentes ( $p=0.05$ ). Sin embargo, los valores de  $\delta^{13}C$  de la materia orgánica del suelo no estuvieron dentro del rango de las especies  $C_4$  (Tabla 1).

Los valores de  $\delta^{13}C$  a mayor profundidad (6-12 cm) fueron parecidos a los de la selva sin transformar. En la cresta de once años, los valores empezaron a ser diferentes a los de la selva sin perturbar (Tabla 1).

En la tabla 2 se presenta el cambio de las proporciones entre materia orgánica de diferente origen (selva y pasto), el cambio más marcado se dió en la ladera de once años (45.5%). En general, se presentó una disminución en la materia orgánica de la selva y un aumento del pasto (Figura 2). En la cresta, las proporciones entre las dos fuentes alcanzaron valores muy cercanos en la parcela de once años. Sin embargo, en la ladera existió un déficit de materia orgánica del pasto con respecto a la cresta.

## DISCUSION

El cambio de los valores de  $\delta^{13}C$  de la materia orgánica del suelo debido a la sustitución de la vegetación, ya ha sido reportado en otros sitios (Barnes et al., 1983; Dzurec et al., 1985; Cerri et al., 1985; Schwartz et al., 1986). En el presente trabajo, los valores de  $\delta^{13}C$  en la parcela con más tiempo de uso no alcanzaron los rangos de las plantas  $C_4$ , a pesar de que el cambio de las especies es muy contrastante. Los principales factores que influyen en estos resultados son: el tiempo de uso de las parcelas y los niveles de erosión de los suelos.

El tiempo máximo de uso de las parcelas muestreadas no ha sido suficiente para que exista una sustitución total de la materia orgánica de la selva. Cerri (1986) encontró valores parecidos a los de las plantas  $C_4$  en parcelas con 50 años de cultivo de caña de azúcar. La sustitución de la materia orgánica depende de sus tasas de mineralización y de la incorporación al suelo de las raíces remanentes de la selva, que se conoce muy poco en Chamela. En este mismo sitio, Castellanos et al. (1991) reportan una biomasa radicular de  $31 \text{ t ha}^{-1}$  y una relación raíz:tallo de 0.42, que es alto comparado con otros ecosistemas tropicales. Esta biomasa radicular, representa un banco importante de carbono en el suelo, que puede estar determinando la dominancia de la materia orgánica del suelo con origen en la selva durante cierto tiempo bajo manejo.

La incorporación de la materia orgánica de los pastos se da principalmente en las capas superficiales del suelo. En todas las parcelas, los valores de  $\delta^{13}C$  a profundidades mayores de 6 cm fueron parecidos a los de la selva. La materia orgánica es muy susceptible a la pérdida por erosión (Lal, 1985). En este agroecosistema, García-Oliva et al. (capítulo 7) encontraron una

disminución de la materia orgánica con el tiempo de uso, siendo significativamente mayor en las laderas que en las crestas. La remoción de la capa superficial del suelo por erosión puede explicar las diferencias encontradas entre las crestas y laderas.

En la parcela de 7 años ya existe una diferencia significativa entre la materia orgánica del pasto en relación a la selva. Sin embargo, la materia orgánica del suelo de la selva no ha sido completamente substituida por la de la pradera. Esta parcela, coincide con lo encontrado en la reducción de la fertilidad del suelo (ver capítulo 7). Esto nos permite pensar, que la cantidad de materia orgánica del suelo de la selva, puede jugar un papel muy importante en regular la degradación del suelo y en el momento que es reducida en cierta cantidad, el ecosistema empieza a perder esta capacidad.

#### AGRADECIMIENTOS

A Rocío Esteban por su apoyo técnico. El presente trabajo se realizó con el apoyo económico de DGAPA-UNAM.

#### REFERENCIAS

- Bruijnzeel, L.A. 1990. Hydrology of moist tropical forests and effects of conversion: a state of knowledge review. National Committee of the Netherlands, UNESCO, ITC, The International Association of hidrological Sciences. 224 pp.
- Castellanos, J., J.M. Maas and J. Kummerow 1991. "Root biomass of a dry deciduous tropical forest in Mexico" Plant and Soil. 131: 225-228.
- Bullock, S.H. 1986. "Climate of Chamela, Jalisco and trends in the south coastal region of Mexico". Arch. Met. Geoph. Biocl. 36: 297-316.
- Cerri, C., C. Feller, J. Balesdent, J. Victória and A. Plenecassagne 1985. "Application du tra{ccedilla}age isotopique naturel en  $^{13}\text{C}$  à l'étude de la dynamique de la matière organique dans les sols". Compte Rendu de l'Académie des Sciences 300: 423-426.
- Cerri, C. 1986. "Dinâmica da matéria orgônica do solo no agrossistema cana-de-açúcar. Tese Livre Docente Escola Superior de Agricultura 'Luiz de Queiroz', Universidad de Sao Paulo, Brasil, 197 pp.
- De Ita-Martínez, C., J. Sarukhan and J.M. Maass 1991. "Land use patterns on a tropical deciduous forest ecosystem on the Pacific coast of Jalisco, Mexico". (submitted to Agroforestry Systems).
- Dzurec, R.S., T.W. Boutton, M.M. Caldwell and B.N. Smith 1985. "Carbon isotope ratios of soil organic matter and their use in assessing community composition changes in Curlew Valley, Utah". Oecologia 66: 17-24.

- Ehleringer, J.R. and P.W. Rundel 1989. "Stable isotopes: history, units, and instrumentation". In: P.W. Rundel, J.R. Ehleringer and K.A. Nagy (Eds.). Stable isotopes studies in ecological research. Springer-Verlag, 68: 1-15.
- Hurlbert, S.H. 1984. "Pseudoreplication and the design of ecological field experiments" Ecological Monographs 54 (2): 187-211.
- Lal, R. 1985. "Soil erosion and its relation to productivity in tropical soils". In: S.A. El-Swafy, W.C. Moldenhauer and A. Lo (Eds.). Soil erosion and conservation SCSA, Ankeny, IA. 237-247.
- Lal, R. 1987. Tropical ecology and physical edaphology. John and Wiley sons.
- Lott, E.J. 1985. Listado florístico de la Estación de Biología Chamela, Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Mooney, H.A., S.H. Bullock and J.R. Ehleringer 1989. "Carbon isotope ratios of plant of a tropical dry forest in Mexico". Functional Ecology 3: 137-142.
- O'Leary, M. 1981. "Carbon isotope fractionation during photosynthesis". Geochim. Cosmochim. Acta 21: 110-126.
- Schwartz, D., A. Mariotte, R. Lanfranchi and B. Guillet 1986. "<sup>13</sup>C/<sup>12</sup>C ratios of soil organic matter as indicators of vegetation changes in the Congo" Geoderma 39: 97-103.
- Smith, B.N. and S. Epstein 1971. "Two categories of <sup>13</sup>C/<sup>12</sup>C ratios for higher plants". Plant Physiol. 47: 380-384.
- Sofer, Z. 1980. "Preparation of Carbon Dioxide for stable isotope analysis of petroleum fractions" Anal. Chem. 52: 1389-1391.
- Srivastava S.C. and J.S. Singh 1989. "Effect of cultivation on microbial carbon and nitrogen in dry tropical forest soil". Biol. Fertil. Soils. 8: 343-348.
- Toledo, V.M., J. Carabias, C. Toledo y C. González-Pacheco 1989. La producción rural en México: alternativas ecológicas. Fundación Universo Venturo, México. 402 pp.
- Vogel, J.C. 1980. Fractionation of the carbon isotopes during photosynthesis Springer-Verlag.
- Volkoff, B. and C.C. Cerri 1987. "Carbon isotopic fractionation in subtropical Brazilian grassland soils. Comparison with tropical forest soils". Plant and Soil 102: 27-31.

Tabla 1.- Promedios (error estándar) de  $\delta^{13}\text{C}$  ( $^{\circ}/_{\text{op}}$ ) del mantillo y la materia orgánica de parcelas con distinto tiempo de uso agropecuario, en Chamela, Jalisco, México.

Tiempo de Uso	Mantillo		Suelo		6-12 cm	
	Cresta	Ladera	Cresta	Ladera	Cresta	Ladera
Selva	-27.4	-27.1	-24.6 (0.35)	-24.9 (0.42)	-24.1	-24.1
Uno	-16.0	-15.4	-23.7 (0.37)	-23.2 (0.39)	-23.2	-23.2
Tres	-12.4	-14.6	-24.3 (0.54)	-24.5 (0.21)	-24.7	-24.3
Siete	-15.5	-15.3	-21.7 (0.68)	-22.4 (0.47)	-23.8	-23.1
Once	-15.3	-16.4	-20.4 (0.39)	-23.2 (0.75)	-22.9	-24.5

Tabla 2.- Cantidad de materia orgánica con distinto origen y sus proporciones relativas, en parcelas con distinto tiempo de uso agropecuario, en Chamela, Jalisco, México. X: porcentaje de la materia orgánica derivada del pasto, Y: porcentaje de la materia orgánica derivada de la selva, MOP: cantidad de materia orgánica derivada del pasto y MOS: cantidad de materia orgánica derivada de la selva.

Tiempo de Uso	Promedio		Cresta		MOS		Ladera	
	M.O. (t ha <sup>-1</sup> )	X %	MOP (t ha <sup>-1</sup> )	Y %	(t ha <sup>-1</sup> )	X %	MOP (t ha <sup>-1</sup> )	MOS (t ha <sup>-1</sup> )
0	17.28	0.0	0.00	100.0	21.21	0.0	100.0	0.00
1	22.87	10.4	89.5	2.51	21.45	18.7	81.3	4.07
3	19.26	3.5	96.5	0.97	19.31	5.2	94.8	0.97
7	20.21	10.4	89.5	2.03	17.36	26.4	73.6	5.55
11	19.50	45.5	54.4	9.62	11.49	18.0	81.9	3.22

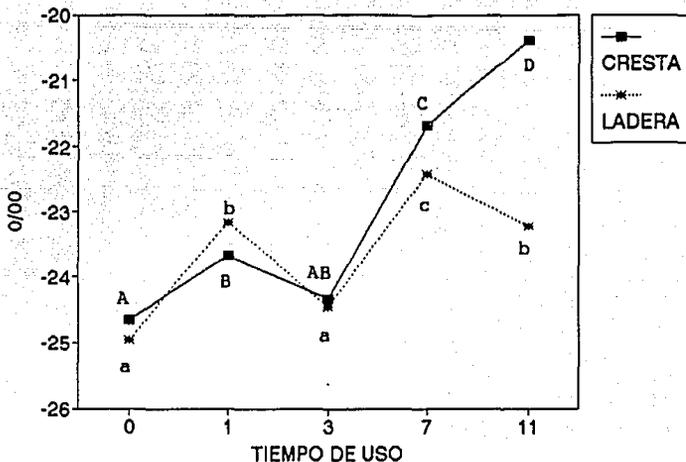


Figura 1.- Promedios de  $^{13}C$  de la materia orgánica en parcelas con distinto tiempo de uso en los primeros 6 cm. Las letras corresponden a los grupos formados con la prueba de Tukey ( $p=0.05$ ) en cada unidad del relieve.

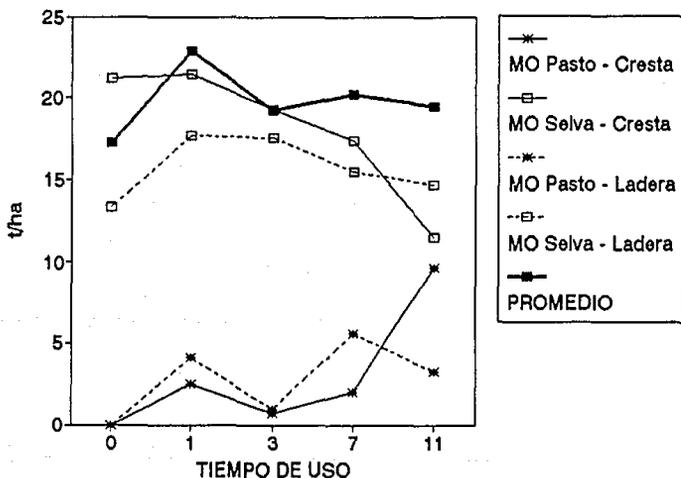


Figura 2.- Promedios de la materia orgánica con distinto origen en los primeros 6 cm del suelo, en parcelas con diferente tiempo de uso.

## COMENTARIOS FINALES

## 1. Panorama de los estudios de erosión en México

La erosión de suelos es uno de los principales problemas de la degradación de los ecosistemas en México. Todos los estudios realizados en el país, elaborados con distintos métodos, confirman lo anterior. Las etapas en que se encuentra la investigación sobre erosión en México son: i) la aplicación de distintos métodos para evaluar la erosión y ii) la determinación de superficies erosionadas a distintas escalas.

Los ecosistemas tropicales son muy susceptibles a la erosión de los suelos. Entre ellos, los ecosistemas tropicales subhúmedos son los más afectados.

Los trabajos de conservación de suelos en el país, presentan dos problemas principales. Por un lado, la aplicación de técnicas acordes a las características de cada uno de los ecosistemas. Para ello, es importante aplicar los estudios enmarcados en las condiciones naturales y socio-económicas de cada región, y no utilizar métodos elaborados en otros países. Esto último, representa uno de los principales obstáculos de las prácticas de conservación en las zonas tropicales mexicanas. Por el otro, se debe considerar el tipo de erosión dominante en el sitio. Bocco y García-Oliva (1992) afirman que los efectos de la erosión laminar y en cárcavas son diferentes y hasta contrarios. Tomar en cuenta el proceso erosivo, influye en el éxito de los programas de conservación del suelo.

## 2. Aplicación del método de la distribución de Cs-137 en el suelo para medir erosión en Chamela, Jalisco.

La aplicación del método de la distribución de Cs-137 en el suelo para medir erosión ha sido exitoso en ambientes templados y en suelos con altas proporciones de arcillas. El presente trabajo, representa la primera experiencia en zonas tropicales en suelos con alto porcentaje de arenas.

El sistema de espectrometría gamma utilizado, permitió medir actividades mínimas de Cs-137. La distribución de Cs-137 en el perfil del suelo, depende de las superficies de intercambio catiónico. La materia orgánica representó la principal fuente de estas superficies en el sitio de trabajo. La redistribución de Cs-137 se debió principalmente al movimiento del suelo.

Sin embargo, para la interpretación de las tasas de erosión de suelo estimadas con este método en Chamela, es importante considerar los siguientes aspectos:

- a) El tamaño dominante de las partículas del suelo fueron las arenas, por lo que las tasas de erosión pueden estar sobrestimadas. La estimación de las tasas de erosión considera la densidad aparente del suelo, que dependió en gran medida de las arenas. De Jong et al. (1983) mencionan que el método puede sobrestimar la erosión neta, cuando se tiene baja actividad de Cs-137 en relación al volumen del suelo removido.
- b) En suelos predominantemente arenosos, aumenta la variación de las superficies de intercambio catiónico y por lo tanto, la variación de la actividad de Cs-137 (Figura 1).

- c) La exactitud del promedio de la erosión neta en una ladera depende de la variación espacial de la actividad de Cs-137 (Kachanoski y De Jong, 1984). Esto es debido a que el método determina la erosión neta en un punto particular dentro del paisaje. La tasa de erosión depende del sitio que ocupa dentro del paisaje, por lo que es importante considerar la morfología de la ladera (e.i. formas y gradientes) para su interpretación.
- d) La determinación de la distribución espacial de las parcelas con distinto tiempo de uso, no considera a las unidades del relieve. Por lo que en todas las parcelas, no encontramos zonas de acumulación de sedimentos bien definidas (pies de laderas). De igual manera, la variación de la morfología de laderas fue grande entre parcelas.
- Considerando lo anterior, el muestreo de los perfiles de Cs-137 se puede mejorar tomando en cuenta lo siguiente: el muestreo debe ser en perfiles a lo largo de una ladera, integrando la morfología de ésta en la interpretación de las tasas de erosión neta. El muestreo basado en puntos al azar es difícil de interpretar.

### 3. Factores que limitan la producción agropecuaria en Chamela.

Los factores ambientales principales que limitan la producción agropecuaria en Chamela son dos: el patrón de lluvias y las características de los suelos.

El patrón de lluvias tiene tres aspectos importantes. El primero es la marcada estacionalidad de las lluvias, que se traduce en una disponibilidad de agua restringida al verano, debido a la baja capacidad de retención del suelo y el sustrato rocoso. El segundo, es un patrón de lluvias aleatorio tanto intra-anual como inter-anual. El tercer aspecto es la concentración de la lluvia en pocas tormentas muy intensas y con alto nivel erosivo.

Los suelos tienen una alta susceptibilidad a la degradación por mal manejo. Esta susceptibilidad se debe a los siguientes componentes: la morfología de laderas, las características físicas de los suelos, la disponibilidad de las cargas de adsorción y la distribución de los principales nutrientes en el perfil del suelo.

Las laderas fueron la unidad del relieve dominante en el sitio, y se caracterizan por ser convexas con marcada inclinación (promedio de 23°). Los suelos son poco estructurados y con dominancia de arenas y bajo contenido de materia orgánica. Todo esto, genera que los suelos de Chamela sean altamente susceptibles a la erosión hídrica. La distribución superficial de la materia orgánica y de los principales nutrientes en el perfil del suelo explicó la importancia de su pérdida. Los valores reportados de erosión por Maass *et al.* (1988) y los resultados de esta tesis, señalan que la erosión es el proceso principal de degradación en esta área.

La parcela con siete años de uso presentó una disminución importante de nutrientes. En esta parcela, se dio un cambio

significativo de las proporciones de la materia orgánica del suelo con distinto origen. Esto último, parece apuntar que la materia orgánica del suelo remanente de la selva, juega un papel muy importante en el control de la degradación acelerada del suelo. Es importante conocer la dinámica de la pérdida de la materia orgánica de la selva en el suelo, para conocer la capacidad de este ecosistema para resistir perturbaciones y regenerarse.

#### 4. Consideraciones a las alternativas de manejo.

Este último punto, tiene como objetivo plantear dos puntos que se pueden considerar para las alternativas de manejo con el manejo agropecuario actual.

El primero, es la utilización de la capacidad de recuperación del ecosistema natural con un tiempo de uso adecuado. Este tiempo de uso adecuado, debe considerar el momento a partir del cual, el deterioro del suelo es todavía reversible. Los datos presentados en este trabajo, muestran que la pérdida de nutrientes en el tiempo no es constante. La definición del tiempo de uso óptimo, depende de la dinámica de la pérdida de la materia orgánica del suelo remanente de la selva.

El segundo aspecto, es la utilización de la heterogenidad del espacio. Las unidades del relieve pueden servir como base para una mejor utilización del espacio en mosaicos. Los niveles de degradación no fueron parecidos en cada una de las unidades del relieve. Se propone una intensidad distinta de uso en cada unidad del relieve (cresta, ladera y pie), dependiendo del nivel de susceptibilidad a la degradación. Esto último, implica un cambio en la distribución de las parcelas.

Para proponer un uso adecuado de este ecosistema, es necesario elaborar trabajos de diagnóstico y experimentación, integrando las características del ecosistema con las condiciones socio-económicas del sitio de trabajo.

#### 5. Referencias.

- Bocco, G. and F. García-Oliva 1992. "Some suggestions for gully erosion research in Mexico". (aceptado en J. Soil & Water Conservation).
- De Jong, E., C.B.M. Begg and R.G. Kachanoski 1983. "Estimates of soil erosion and deposition for some Saskatchewan soils" Can. J. Soil Sci. 63: 607-617.
- Kachanoski, R.G. and E. De Jong 1984. "Predicting the temporal relationship between soil Cesium-137 and erosion rate" J. Environ. Qual. 13 (2): 301-304.
- Maass J.M., C. Jordan and J. Sarukhan 1988. "Soil erosion and nutrient losses in seasonal tropical agroecosystem under various management techniques". J. Applied Ecology. 25: 595-607.

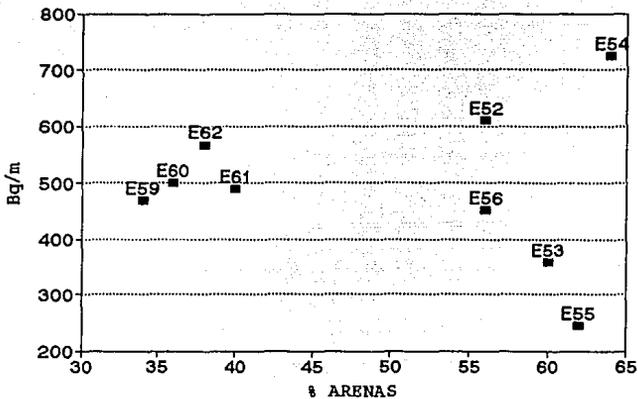


Figura 1.- Relación entre porcentaje de arenas y actividad de Cs-137 en perfiles del suelos en crestas con selva sin perturbar en Chamela, México. El número corresponde a la etiqueta del perfil.