

# Análisis de las características de las precipitaciones de 1992 a 1995 en San Miguel Tlaixpan (Texcoco, México)

Christian PRAT

## Abstract

*In the UE-ORSTOM-CP-UAT-UG research program about rehabilitation of Mexican tepetates, one of the problems is to control soil erosion and productivity of these new soils. The characterization of rainfall in relation to its occurrence, quantity, energy, etc. is fundamental. This paper shows the results of the analysis of 4 years of precipitations measured with a pluviograph on the study area, and the processing of these data with softwares pertaining to ORSTOM (PLUVIOM and ARES).*

*In spite of the short time of the registrations, we could show that the climate is  $C(wI)(w)$  —subhumid temperate with an ustic hydric regime in the classification of Koeppen modified by G. Benavides, as other authors have previously showed, but the total precipitation level for the agricultural season is much lower than what was considered: 620 mm/year instead of 700-800 mm/year. With this amount of water, we cannot really expect a very corn high production.*

*In relation to the aggressivity of the rain, all the rains give a total value of a  $R_{us} = 150$ , wich is a medium value in comparison with other types of climate throughout the world. Only 16 events have higher than 10 mm, representing 50 % of the total water of the year and 80 % of the  $R_{us}$ . Due to the very brief duration of the rains, the maximum intensity during 5, 10 or 15 minutes should be taken as a reference instead of 30 minutes to calculate the  $R$  coefficient. The variability of the events is very high during the same year and between years, difficulting the comparison of agronomic studies.*

**Keywords:** *Sub-humid Temperate Climate - Rain Characteristics - Rain Aggressivity - Mexico Valley*

## INTRODUCCIÓN

En el marco del programa de investigación UE-ORSTOM-CP-UAT-UG sobre la rehabilitación de los tepetates en México (Quantin, 1994) se está desarrollando un estudio sobre las condiciones de habilitación a la agricultura de nuevos suelos formados a partir de un tepetate t3 roturado. En tal estudio, se consideran propuestas para limitar la erosión de esos suelos, pero es necesario adecuar dichas propuestas a las características del clima. Por ello,

se realizó un detenido análisis de los parámetros de erosividad de las lluvias. Además, hasta la fecha no se había efectuado para esta zona un tipo de estudio tan detallado al respecto.

## **METODOLOGÍA**

La zona de estudio se encuentra en San Miguel Tlaixpan (Edomex), aproximadamente 15 km al este de Texcoco. Está localizada en la parte oriental de la cuenca de México, a nivel de los 98° 47' 55" de longitud norte y 19° 29' 53" de latitud oeste. La altitud es de 2.555 m.s.n.m.. Su clima, según la clasificación de Koeppen modificada por García B. (1979), es de tipo C(w1)(w), es decir templado subhúmedo, con un régimen de humedad ústico (Peña y Zebrowski, 1992).

Las lluvias se registraron en un pluviógrafo mecánico Stevens, de amplitud 1 x 1 y de rotación diaria, manejado por el Área de Física de Suelos del Colegio de Postgraduados de Agrociencias. Pese a las reiteradas solicitudes, no se pudo disponer de un registro anual, sino solamente de la mayor parte de datos correspondientes a la época lluviosa. Un pluviómetro de control ubicado al lado del pluviógrafo permitió al menos completar los datos faltantes en términos de altura de lluvias.

Se digitalizaron manualmente todos los pluviógrafos en una tabla de digitalización Summasketch conectada a una computadora a través de un módulo del programa PLUVIOM desarrollado por el ORSTOM (Boyer *et al.*, 1992). Posteriormente, se procesaron todas las lluvias, independientemente de su duración o altura, gracias al programa ARES (Esteve, 1991) igualmente desarrollado por el ORSTOM. Se tomó una hora como tiempo de separación entre dos precipitaciones. A partir de la altura máxima observada, se calcularon, durante 5, 10, 15, 30 y 60 minutos, las intensidades correspondientes.

En el presente artículo se presentan los datos procesados de los años 1992 a 1995.

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Al no contar con las todas las precipitaciones a lo largo de los 4 años, se presentan ciertas dificultades para efectuar comparaciones entre los años. Por ejemplo, en el caso de 1995, se disponía únicamente del 70 % de las precipitaciones, pero se pudo, gracias al pluviómetro mencionado anteriormente, completar los datos faltantes, aunque solamente en términos de altura de lluvia.

### **Precipitación y distribución anual de las lluvias de 1992 a 1995**

El comportamiento de las lluvias puede ser muy variable de un año a otro, en términos tanto de cantidades de precipitaciones como de su distribución a lo largo de cada temporada de lluvias (cuadro 1).

### **Precipitación y distribución mensual de las lluvias de 1992 a 1995**

Se observa que prácticamente no llueve durante los meses de noviembre a abril y que la temporada de lluvia se extiende a lo largo de los 6 meses restantes. El mes más lluvioso es agosto, y sus precipitaciones representan el 24 % de la lluvia total anual. La proporción de lluvias fuera del ciclo agrícola (mayo-octubre) es del 6 % de las lluvias totales. El año 1995 fue una excepción a este respecto, ya que dichas precipitaciones representaron el 24 % de las lluvias anuales, es decir 188 mm (cuadro 2). Estos datos difieren un tanto de los presentados en el trabajo de Peña y Zebrowski (1992).

Un análisis comparativo de un año al otro muestra diferencias notables, tanto en términos de cantidad de lluvia como de repartición en el tiempo (figura 1).

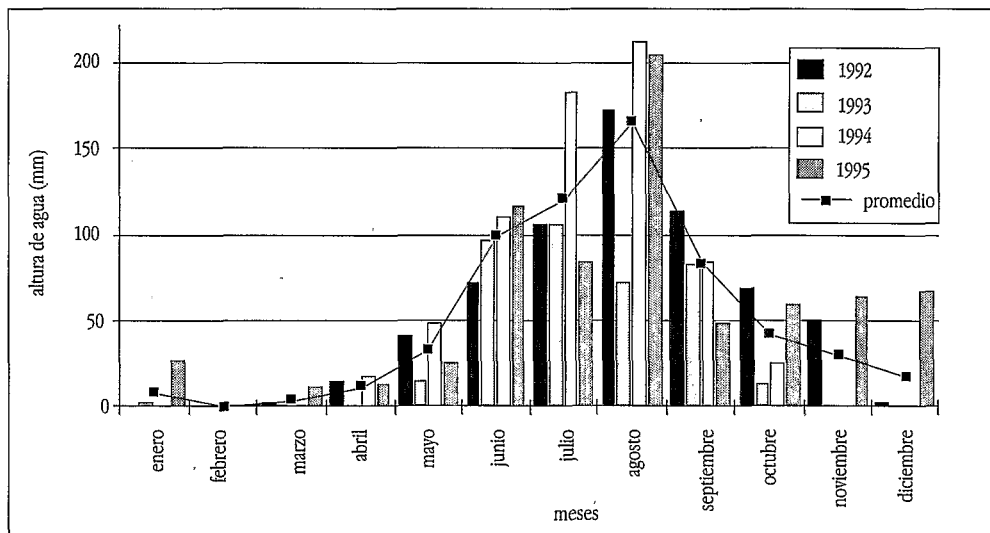
	1992	1993	1994	1995	1992-1995	
Número de días de lluvia	126	81	105	120	108	
Número de aguaceros	193	133	162	183	167	
Altura total (mm)	654,4	397,0	692,4	768,3	628,0	
Número de aguaceros registrados con el pluviógrafo y procesados	193	132	148	154	156	
Altura de aguaceros registrados con el pluviógrafo y procesados	654,4	396,0	594,1	528,6	543,0	
% de lluvias registradas vs. totales	-	99	86	70		
R métrico	259,2	96,0	216,0	196,7	192,0	
R <sub>USSE</sub>	149,3	55,3	124,4	113,0	110,5	
"Tipo" tentativo de clasificación del año pluviométrico	normal y erosivo		muy seco	normal	irregular	año promedio

**Cuadro 1 - Características principales de las lluvias de 1992 a 1995**

	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	Total
1992	0,0	0,0	4,6	15,3	41,5	72,3	106,3	174,0	115,0	69,9	51,9	3,6	654,4
1993	4,7	0,0	0,0	0,0	16,6	98,2	106,0	72,4	84,9	14,2	0,0	0,0	397,0
1994	0,0	0,0	40,0	23,3	49,2	111,5	184,2	212,8	85,7	26,9	2,0	0,0	735,6
1995	28,8	0,0	12,7	14,6	60,9	117,6	85,2	206,0	49,1	61,0	64,4	68,0	768,3
Promedio	8,4	0,0	14,3	13,3	42,1	99,9	120,3	166,3	83,7	53,8	29,6	17,9	638,8

El valor en cursiva es un valor estimado.

**Cuadro 2 - Precipitaciones mensuales de 1992 a 1995**



**Figura 1 - Distribución de las alturas mensuales de las precipitaciones a lo largo de cada año**

### Distribución de las precipitaciones a lo largo del día

Las lluvias se distribuyen a lo largo del día según un esquema típico de lluvias de medio tropical: es muy poco usual que llueva entre media noche y las 11 a.m. mientras

que la mayoría de las precipitaciones ocurren entre las 12 a.m. y la media noche, con una mayor proporción de las 2 a las 8 p.m (figura 2).

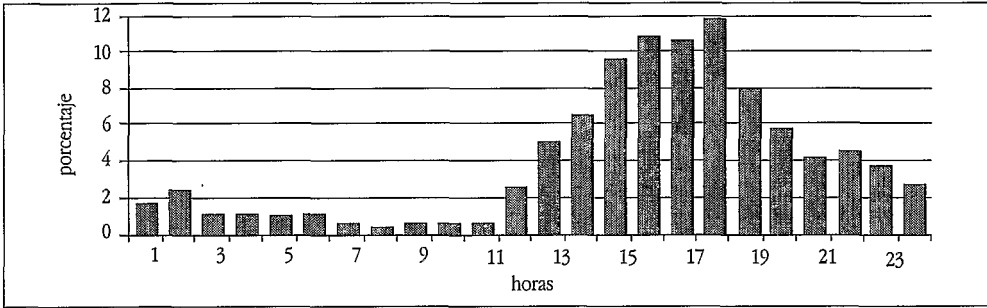


Figura 2 - Hora de inicio de las lluvias (promedio de las lluvias de 1992 a 1995)

### Duración de las precipitaciones

La mitad de las lluvias tienen una duración inferior a los 30 mn, y de ellas el 28 % no superan los 15 mn. Por otro lado, solamente un 6 % de los aguaceros tienen una duración mayor a una hora y media. Estas características de las precipitaciones son típicas de lluvias de los trópicos que caen bajo la forma de aguaceros breves. El hecho de que las lluvias sean breves invalida la forma de calcular un índice de erosividad con base en una duración de lluvia de 30 mn. Es indispensable determinarlo para duraciones más cortas como 5, 10 y 15 mn, lo que permite tener valores reales y no promedios que disminuyen necesariamente las intensidades.

Si se compara un año con el siguiente, se puede constatar que la proporción de aguaceros en cada clase puede multiplicarse por un factor de 1 a 2 en función del año considerado. Por ejemplo, en 1994, el 4 % de las lluvias duraron menos de 5 mn, mientras que durante 1993, esa cifra se eleva al 8 %. Por otro lado, las lluvias de la clase 30-59 mn representan el 13 % en 1993 y el 30 % en 1994. Sin embargo, no se puede diferenciar de manera muy clara la pluviometría de los años estudiados con base en la duración de los aguaceros.

### Altura de agua de las precipitaciones (cuadro 3)

Debido a la falta de la mayor parte de los registros pluviográficos durante los meses de la época seca, se pueden analizar las lluvias que ocurren durante esa época así como al inicio de la época de lluvia únicamente en términos de altura de precipitación. El 80 % de las lluvias tienen una altura inferior a los 5 mm y del 6 % (1993) al 14 % (1994) corresponden a lluvias de 5 a 9,9 mm. Las precipitaciones  $\geq 10$  mm representan entre el 8 % (1992) y el 13 % (1994).

En términos de número de lluvias, si se cuentan alrededor de 15 aguaceros  $\geq 10$  mm cada año, el número de lluvias de la clase 5-9,9 mm varía considerablemente de un año a otro, ya que en 1992 fueron 26 mientras en 1993 fueron solamente 8.

### Intensidad de las precipitaciones (cuadro 4)

Las tres cuartas partes de las lluvias tienen una intensidad inferior a los 5 mm/h, lo que corresponde a intensidades muy bajas. Un 15 % pertenece a la clase de 5 a 10 mm/h

y el 10 % restante se ubica entre 10 y 48 mm/h. Casi todas estas lluvias intensas corresponden a las de mayor altura. Dichas intensidades son fuertes, pero mucho menores a las que se pueden encontrar en condiciones climáticas meramente tropicales.

Altura mm	1992	1993	1994	1995	1992-1995	1992-1995
	número					%
<5	152	110	123	122	123	78,3
5-9,9	26	8	18	17	18	11,5
10-14,9	10	7	9	7	9	5,6
15-19,9	2	6	4	5	4	2,5
20-24,9	1	1	2	3	2	1,4
25-29,9	1	0	1	0	1	0,3
30-44,9	0	0	0	0	0	0,0
>45	1	0	0	0	1	0,2

**Cuadro 3 - Altura de agua vs. número de lluvias**

I mm/h	1992	1993	1994	1995	1992-1995	1992-1995
	número					%
0	143	102	104	117	116	74,2
5	30	23	22	20	24	15,1
10	8	3	12	6	7	4,6
15	7	1	4	6	5	2,9
20	3	3	3	1	3	1,6
25	0	0	1	1	1	0,3
30	2	0	1	2	1	0,8
35	0	0	0	0	0	0
40	0	0	1	1	1	0,3

**Cuadro 4 - Intensidad vs. número de lluvias**

### Intensidades observadas por rango de 15 mn alrededor de la intensidad máxima durante 15 mn

Este parámetro nos permite determinar el periodo de la lluvia de mayor intensidad.

Sumando las precipitaciones de duración inferior a 15 mn con las que presentan su intensidad máxima durante los 10 primeros minutos, resulta que el 75 % de las lluvias alcanzan su intensidad máxima al inicio de la precipitación. Esta característica es típica de las lluvias tropicales.

Esta forma de llover implica que la mayor parte de la energía así como de la cantidad de agua caen al inicio sobre un suelo seco o algo reseca. Su reserva de agua no está entonces saturada, lo que garantiza una infiltración mayor a la que se produciría si las intensidades máximas ocurrieran al final de las lluvias. Este dato es otro elemento que indica que la erosividad potencial de las lluvias es mayor a la erosividad real.

### Homogeneidad de las precipitaciones (cuadros 5 y 6)

Una forma de caracterizar a las lluvias es estudiar cada hietograma en función de las intensidades (en este caso durante cada periodo de 15 mn), para definir si se trata de lluvias simples o multimodales. Como en el caso anterior, no se consideran las precipitaciones de duración inferior a 15 mn.

Pese a tratarse de eventos breves, algo menos de la mitad de las lluvias son multimodales. Sin embargo, en la mayoría de los casos, las otras intensidades corresponden solamente a algunos milímetros ( $\leq 3$  mm/h), lo que representa un valor de dos a diez veces inferior a la intensidad máxima registrada durante el mismo evento. Con esta aclaración, las precipitaciones realmente multimodales son finalmente escasas. Tomando arbitrariamente una intensidad máxima superior a esos 3 mm/h, se tienen solamente 16 lluvias multimodales en 1992, 14 en 1993, 15 en 1994 y 10 en 1995, lo que representa menos de 10 % de las precipitaciones anuales.

### Intensidades durante 5, 10, 15 y 30 minutos

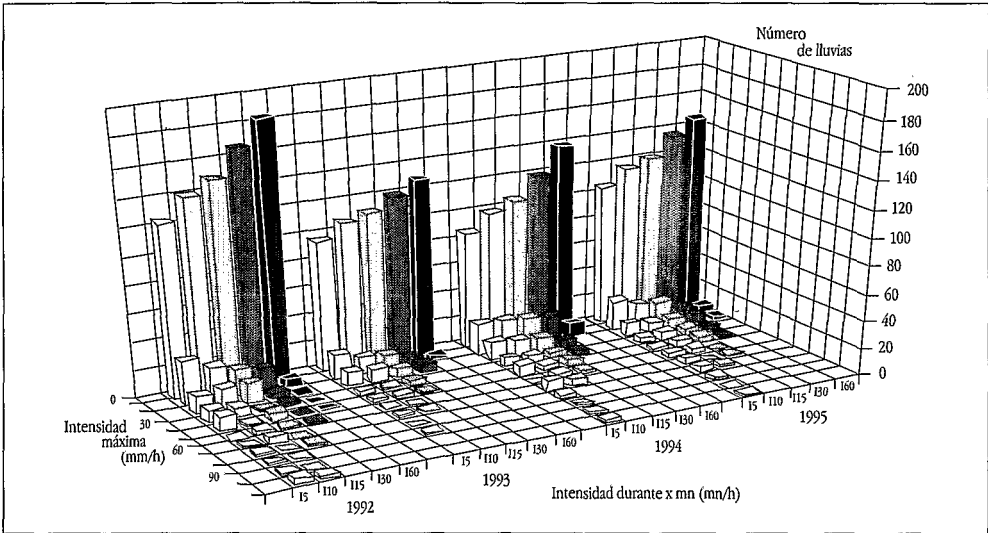
Para conocer la variabilidad de las intensidades durante una lluvia, se determinaron las intensidades máximas registradas durante 5, 10, 15, 30 y 60 minutos (el programa ARES permite calcular las alturas para 9 tiempos diferentes definidos por el utilizador).

	1 modal	2 modal	3 modal	4 modal	5 modal	Total
1992	88	30	12	7	1	138
1993	49	25	8	3	0	85
1994	64	31	14	2	1	112
1995	55	26	12	7	1	101
Promedio	64	28	11	5	1	109

**Cuadro 5 - Número de lluvias distribuidas en función de su forma**

	1 modal	2 modal	3 modal	4 modal	5 modal	Total
1992	64	22	9	5	0,5	100
1993	58	29	9	4	0,0	100
1994	57	28	12	2	1,0	100
1995	54	26	12	7	1,0	100
Promedio	58	26	11	4	0,7	100

**Cuadro 6 - Porcentaje de lluvias distribuidas en función de su forma**



**Figura 4 - Intensidades durante 5, 10, 15, 30 y 60 mn**

Se observa que los valores son obviamente mucho más elevados que los de intensidad global de cada lluvia. Así, salvo 1993, los otros tres años presentan entre 8 y 14 lluvias de intensidad superior a 50 mm/h durante 5 mn y de 6 a 8 durante 10 mn, e incluso, de 1 a 4 aguaceros al año tienen intensidades mayores a 100 mm/h. Estas lluvias tienen una potencialidad erosiva sumamente importante, y como se manifiesta en otro artículo de este volumen (Prat *et al.*, 1997), existe una estrecha relación entre esas intensidades, aunque breves, el escurrimiento, la erosión y los cambios en los estados de superficie del suelo.

Está claro que el  $I_{30}$  (valor que entra en el cálculo del R de Wischmeier) así como la intensidad global de cada lluvia no son los mejores indicadores para expresar el grado de erosividad de las lluvias que caen en la región de San Miguel Tlaixpan. En efecto, como la mitad de las lluvias tienen duran menos de 30 mn, el  $I_{30}$  promedia demasiado las intensidades de las precipitaciones lo que llega a ocultar la erosividad de un buen número de lluvias.

**Energía cinética de las precipitaciones (figura 5)**

Se calculó la energía cinética —expresada en toneladas métricas por hectárea y por mm de lluvia ( $TM^*/ha^*mm$ )— para cada aguacero, según la siguiente fórmula (Wischmeier y Smith, 1978):

Energía cinética =  $1214 + 890 \log_{10}$  Intensidad de la lluvia

En este caso, se toma el valor de la intensidad en su totalidad, sin buscar calcular para cada serie de intensidad constante su Ec, tal como se procederá luego con la Ec global. El interés de este cálculo general radica en el hecho de que la intensidad de una lluvia es un dato relativamente fácil de conseguir.

La mayoría de las lluvias tienen una energía cinética por debajo de las 25 t.m/ha\*mm. En 1992, 1994 y 1995 los aguaceros que superaron las 25 t.m/ha\*mm fueron de 30 a 40 frente a 16 en 1993. Finalmente, en este último año, ninguna lluvia superó las 30 t.m/ha\*mm, mientras que se contabilizaron entre 3 y 6 a lo largo de los otros años.

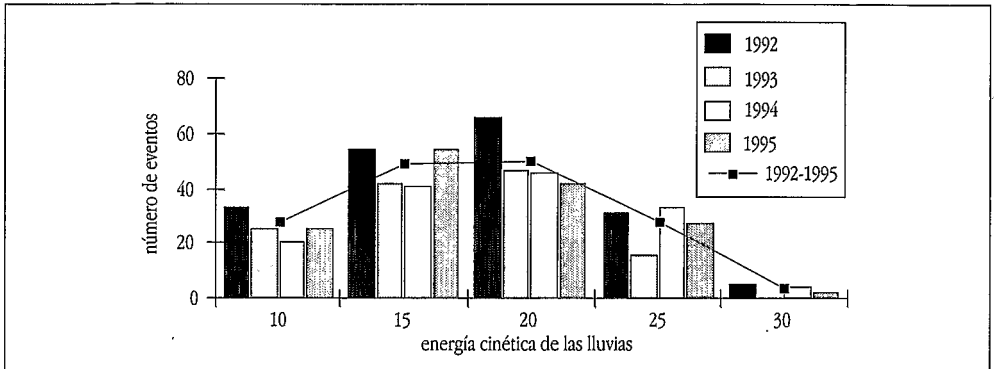


Figura 5 - Energía cinética de las lluvias

**Energía global de las precipitaciones** (figura 6)

La energía global corresponde a la suma de las energías unitarias, es decir de cada sección de lluvia de intensidad constante:

$$\text{Energía global} = \sum (\text{energía unitaria} \times \text{altura de lluvia para cada intensidad constante})$$

donde la energía unitaria (en t.m/ha\*mm) =  $1.214 + 890 \log_{10} I$  para cada intensidad constante.

Encontramos el mismo tipo de relación entre los años que en el caso de la energía cinética: 1993 se caracteriza por tener alrededor de 20 lluvias con una energía global que supera las 100 t.m/ha\*mm sin rebasar las 500 t.m/ha\*mm, mientras que en 1992 y 1994 se produce el doble de lluvias que rebasan las 100 t.m/ha\*mm, en comparación con 1992. El año 1994 sigue siendo un año intermedio entre estos dos extremos, con alrededor de 30 lluvias con energía cinética superior a 100 t.m/ha\*mm, pero ninguna con más de 700 t.m/ha\*mm.

**Energía cinética máxima de las precipitaciones** (figura 7)

Corresponde a la energía cinética máxima que ocurrió durante una precipitación, independientemente del tiempo de duración de la misma. Este dato indica las lluvias más erosivas así como los valores extremos encontrados.

Mientras 1992 y 1994 tienen características similares con alrededor de 53 aguaceros con una energía cinética superior a 25 t.m/ha\*mm, 1992 tiene solamente 36 y 1995, 43. Además, en 1992 y 1994 hubo dos lluvias que registraron valores superiores a las 300 t.m/ha\*mm, mientras que 1993 y 1995 no presentaron ningún aguacero tan fuerte.

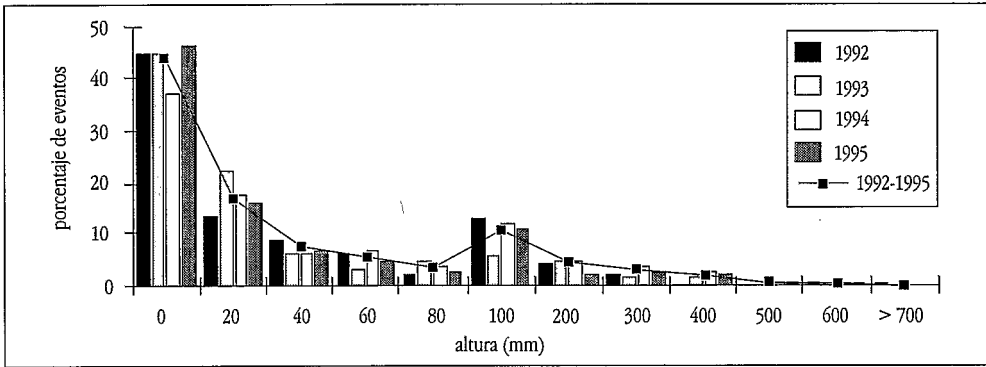


Figura 6 - Energía global vs. porcentaje del número de lluvias

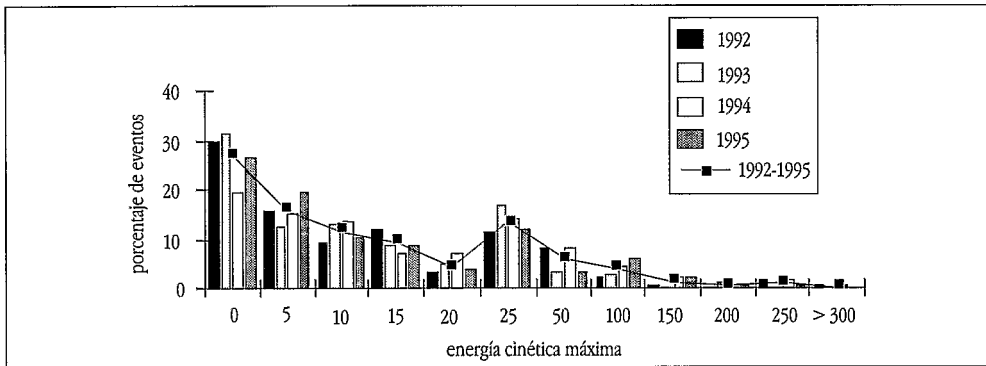


Figura 7 - Energía cinética máxima vs. porcentaje del número de lluvias

**Coefficiente de erosividad de las lluvias según Wischmeier ( $R_{USA}$ ) —cuadro 7—**

Se debe recordar que el coeficiente de erosividad de las lluvias fue calculado por cada evento según la fórmula de Wischmeier, sin tomar en cuenta una altura ni una duración límite para cada lluvia, mientras que el autor de esta fórmula afirma que se deben excluir las lluvias superiores a 12,4 mm y las inferiores a 6,4 mm de una duración de 15 mn. Se prefirió tomar en cuenta todos los aguaceros, para luego, llegado el caso, suprimir los innecesarios. Los cálculos fueron efectuados con base en la fórmula de Wischmeier (1978):

$$R_{US} = \text{Energía global} * I_{30}/100$$

Aunque falta el 30 % de las lluvias en 1995, con base en la baja cantidad de escurrimientos y de sedimentos arrastrados durante esas lluvias no registradas, se puede considerar que probablemente el valor total de  $R_{US}$  en ese año debió presentar 15 puntos más (es decir un total de alrededor de 128), lo que no supera en mucho al de 1994. El valor anual del coeficiente R, tomando todos los aguaceros registrados con el pluviógrafo (es decir el 99 % de las lluvias en 1993, el 86 % en 1994 y solamente el 70 % en 1995), varía poco de un año a otro, destacándose 1993 como un año fuera de lo normal.



**Cuadro 7 - R anual registrado de 1992 a 1995**

Año	1992	1993	1994	1995
R métrico	259,2	96,0	216,0	196,7
R <sub>USA</sub>	149,3	55,3	124,4	113,0

Comparando estos valores de 4 escasos años de registro con otros reportados en la literatura (con registros de varias decenas de años), se puede considerar que el valor promedio anual de la agresividad climática en nuestra área de estudio es relativamente bajo.

La relación entre promedio de los valores anuales R<sub>US</sub> y la altura de las precipitaciones da un valor de 0,2 (110,5/543,3), lo que corresponde a las precipitaciones en sierras tropicales según Roose (1994). Sin embargo, antes de dar por cierta esta conclusión, pese a su coherencia, ese autor recomienda, para poder considerar como válido el valor de dicha relación, tener más de 10 años de registros.

Entre el 80 y el 90 % de las lluvias tienen un R<sub>US</sub> inferior a 1, el 5 % entre 1 y 2, el 3 % entre 2 y 3 y el 5 % restante entre 3 y 16, con excepción de 1992 donde la lluvia del 16/08 tuvo un R<sub>US</sub> de casi 44. En términos de número de aguaceros, se constató que solamente 25 lluvias superaron el valor de 1 del R<sub>US</sub>, mientras que fue el caso de 13 en 1993, 27 en 1994 y 22 en 1995.

Si consideramos el R<sub>US</sub> de las lluvias iguales o superiores a 10 mm, se obtienen los resultados presentados en el cuadro 9 (siempre con los valores registrados con el pluviómetro).

Año	Número de día	Altura registrada	Altura	% de altura de las lluvias registradas	R registrado	R <sub>US</sub>	% de R <sub>US</sub> de las lluvias registradas
1992	17	654,4	292,2	45	149,3	117,1	78
1993	14	396,0	233,1	59	55,3	46,6	84
1994	17	594,1	337,3	57	124,4	102,1	82
1995	15	528,6	266,8	51	113,0	92,1	82
1992 - 1995	16	543,0	282,4	53	110,5	89,5	82

**Cuadro 9 - Comparación de alturas de lluvia con el R<sub>US</sub> (datos totales anuales y medidos por el pluviógrafo)**

En el cuadro se ve claramente que, pese a las variaciones de cantidad e intensidad de los aguaceros así como de los días de lluvia, existen constantes:

- el número de días con más de 10 mm es casi el mismo de un año a otro: 16;
- la proporción entre la altura de agua caída durante estos aguaceros y al altura anual de precipitación es de alrededor del 50 %;
- la proporción entre la suma de los R<sub>US</sub> de dichos aguaceros y los R<sub>US</sub> anuales es del 80 %.

Si se compara el número de precipitaciones con un valor de R<sub>USA</sub> mayor a 2, se tiene en 1992, 15 lluvias, en 1993, 9, en 1994, 18, y en 1995, 15. Estas cantidades corresponden, en parte solamente, a los datos anteriores de los aguaceros  $\geq 10$  mm, lo que muestra que 1993 fue un año no solamente con pocas lluvias sino con baja erosividad, en comparación con los otros años.

$R_{usa}$	1992	1993	1994	1995	1992-1995
	Número				
0	168	119	121	132	135
1	10	4	9	7	8
2	6	3	5	4	5
3	2	2	2	2	2
4	2	0	4	2	2
5	1	1	1	0	1
6	0	3	2	1	2
7	1	0	1	2	1
8	0	0	0	1	0
9	0	0	1	2	1
>10	3	0	2	1	1

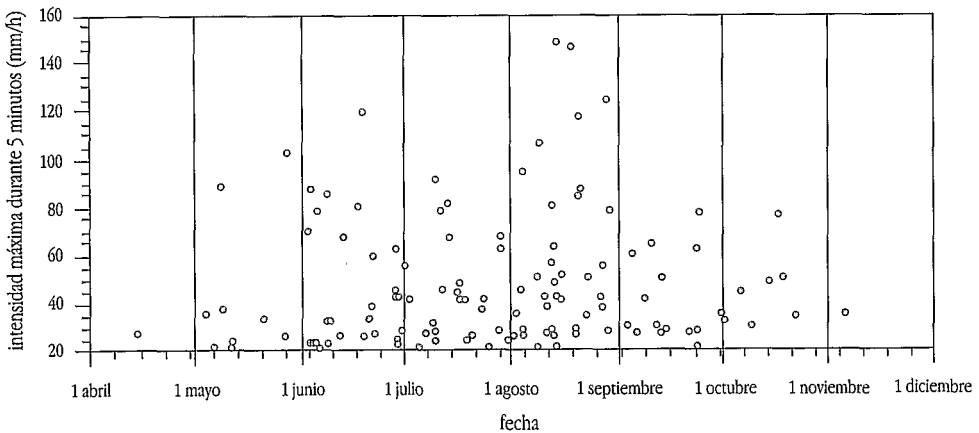
**Cuadro 10 -  $R_{us}$  vs. número de lluvias**

$R_{usa}$	1992	1993	1994	1995	1992-1995
	%				
0	87,0	90,2	81,8	85,7	86,0
1	5,2	3,0	6,1	4,5	4,8
2	3,1	2,3	3,4	2,6	2,9
3	1,0	1,5	1,4	1,3	1,3
4	1,0	0,0	2,7	1,3	1,3
5	0,5	0,8	0,7	0,0	0,5
6	0,0	2,3	1,4	0,6	1,0
7	0,5	0,0	0,7	1,3	0,6
8	0,0	0,0	0,0	0,6	0,2
9	0,0	0,0	0,7	1,3	0,5
>10	1,6	0,0	1,4	0,6	0,5

**Cuadro 11 -  $R_{us}$  vs. porcentaje de lluvias**

De estos datos se puede deducir que no es porque llueva más durante un año que se tiene un mayor número de días con fuertes aguaceros. No es tanto el número de esos días lo que cuenta, y en cierta medida tampoco la altura de los aguaceros, sino más bien la energía desarrollada por cada evento.

En términos de periodo de ocurrencia de los eventos más intensos durante estos 4 años, no existe una relación entre el potencial de erosividad de una lluvia y un periodo particular del año. Como ejemplo ilustrativo, la figura 8 presenta la relación entre fecha e intensidad máxima durante 5 mn ( $I_5$ ) de las precipitaciones mayores a 20 mm/h durante 5 mn, de 1992 a 1995.



**Figura 8 - Distribución del  $I_5$  de las precipitaciones a lo largo de un año promedio (1992 a 1995)**

La regresión entre las intensidades máximas ocurridas en 5 mn ( $I_5$ ) de 1992 a 1995 (tomando en cuenta solamente las mayores a 20 mm/h) y el  $R_{us}$  (salvo el valor de 43 por

llegar a ser una constante) no es buena ( $r^2 = 0,6$ ). Obviamente, a medida que aumenta el tiempo de las intensidades, se acerca a una regresión perfecta con  $R_{US}$ , al llegar al  $I_{30}$ , que es parte de la fórmula de  $R_{US}$ . Por ello, parece importante, con el tipo de registros\* de lluvia de que se dispone, tomar en cuenta no solamente el  $R$ , sino también el  $I_5$  ó  $I_{10}$  para lograr interpretar correctamente los eventos que provocan erosión y escurrimiento.

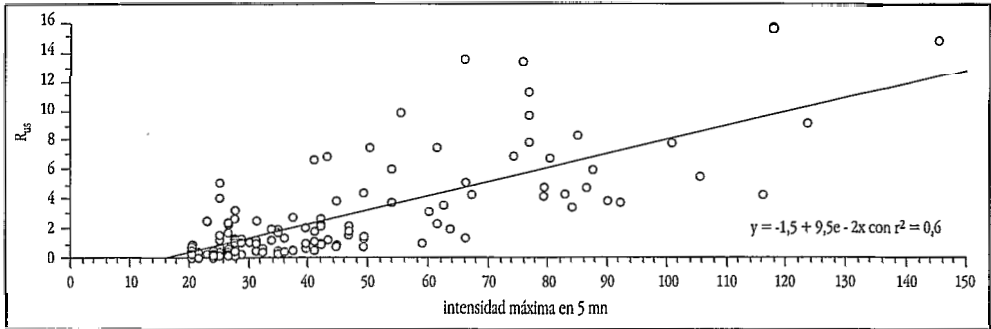


Figura 9 - Relación  $I_5$  de las precipitaciones (con  $I_5 \geq 20$  mm/h) vs.  $R_{US}$  (1992 a 1995)

## CONCLUSIÓN

Con una serie de solamente 4 años, es difícil lograr definir tendencias de la pluviometría en la zona de San Miguel Tlaixpan. Con los datos de que se dispuso, se confirma la clasificación anterior (Peña y Zebrowski, 1992) del clima de tipo C(w1)(w), es decir templado subhúmedo, con un régimen de humedad ústico. Sin embargo, se observa que las alturas de precipitación durante el periodo agrícola son menores ( $\approx 620$  mm anual) a lo que se indicaba antes (700 a 800 mm).

Estas bajas precipitaciones implican que se trata de una zona límite en cuanto al cultivo del maíz. Además, la irregularidad de las lluvias a lo largo del año disminuye aún más la posibilidades de obtener buenos rendimientos con ese cultivo.

En términos de agresividad hacia los suelos, las precipitaciones anuales tienen valores medios ( $R_{US} \approx 150$ ) que corresponden a valores registrados en climas parecidos. Como se sabe, son unas cuantas lluvias las que pueden provocar la mayor parte de la erosión hídrica: 16 eventos de más de 10 mm, que representan el 50 % del total de las lluvias, generan el 80 % del  $R_{US}$ .

Debido a los tiempos muy breves de las precipitaciones, la intensidad máxima ocurrida en 5 minutos (o 10) durante un aguacero debería ser un mejor índice para la evaluación de la erosividad de las lluvias, que el  $R$  basado en una intensidad de 30 minutos. La comparación entre estos valores y las tasas de escurrimiento y cantidades de arrastres confirmará la validez de esta hipótesis.

### Referencias bibliográficas

- BOYER, J.-F.; CRESPIY, A.; DIEULIN, C.; GUISCAFFRÉ, J.; L'HÔTE, Y.; RAOUS, P.; 1992: *PLUVIOM 2.1, Logiciel de gestion de données pluviométriques*, Laboratoire d'Hydrologie, ORSTOM, Montpellier, France.
- ESTEVE, M., 1991: *ARES 2.01, Programme de traitement des relevés pluviographiques intégraux (ex POH126)*, Laboratoire d'Hydrologie, ORSTOM, Montpellier, France.
- GARCÍA B., J., 1979: *Estructura metodológica para la caracterización agroecológica de áreas por procedimientos cuantitativos de análisis y su posterior zonificación*, Tesis doctoral, Colegio de Postgraduados, Edomex, México.
- PEÑA, D.; ZEBROWSKI, C., 1992: *Estudio de los suelos volcánicos endurecidos (tepetates) de las cuencas de México y Tlaxcala (México). Informe del mapa morfopedológico de la vertiente occidental de la Sierra Nevada*, anexo al informe final, Contrato CCE-ORSTOM N° TS2-0212, 101 p.
- PRAT, C.; BAÉZ, A.; ASCENCIO, E.; MARQUÉZ, A., 1997: Erosión y escurrimiento en parcelas de tepetate t3, (Texcoco, México), en este volumen.
- QUANTIN, P., 1994: *Réhabilitation agricole des sols volcaniques indurés (Mexique, Équateur et Chili)*, Rapport scientifique annuel.
- ROOSE, E., 1994: *Introduction à la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES)*, Bull. pédologique de la FAO, N° 79. Roma, Italia.
- WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D., 1978: *Predicting Rainfall Erosion Losses: A Guide to Conservation Planning*, U.S. Department of Agriculture, Agriculture Handbook No. 537, ASDA, 58 p.