

COBERTURA VEGETAL Y EROSIÓN DEL SUELO EN AGUASCALIENTES*

Esteban Salvador OSUNA CEJA¹
Francisco ESQUIVEL VILLAGRANA²

RESUMEN

Está ampliamente reconocido que la cobertura vegetal y los residuos de ésta sobre el terreno reducen la escorrentía y la erosión del suelo; esto ha sido demostrado tanto en bosques y pastizales, como en áreas agrícolas. No obstante, en las áreas agrícolas la reducción de la escorrentía y erosión es menor que en las otras áreas. El objetivo de este estudio fue cuantificar la interacción que existe entre la cobertura vegetal y la energía cinética de la lluvia durante el desarrollo del cultivo. Durante 1989 a 1991 en el Campo Experimental Auxiliar Sandoval, Ags., se establecieron cuatro lotes de escurrimiento de 10 x 2 m, en un suelo Planosol háplico. Dos de ellos estuvieron bajo barbecho continuo y los otros dos se cultivaron con maíz H-204, a una densidad de población de 35,000 pl/ha. Después de cada evento lluvioso se cuantificó la pérdida de suelo y agua, y con los registros pluviográficos se estimó las intensidades máximas de cada evento a diferentes periodos (5, 10, 15, 30, 45, 60, 90, y 120 minutos); así mismo, se estimó el índice de erosividad por lluvia, utilizando como índice el E_{130} . De la planta se cuantificó decenalmente la evolución del porcentaje de cobertura mediante el método de miras telescópicas. Los resultados mostraron que el 54 % de la erosividad se presentó en el primer mes de crecimiento del cultivo, lo cual provocó pérdidas de suelo y agua del orden de 1.84 y 0.70 kg.m²; 186.2 y 170.8 mm, respectivamente. Sin embargo, aunque el maíz alcanzó valores máximos de cobertura del 75%, más del 50% de las pérdidas de suelo y agua se concentraron en las primeras etapas de desarrollo del cultivo cuando éste tenía menos del 50% de su cobertura vegetal.

* Artículo enviado al Comité Editorial del INIFAP Área Agrícola el 28 de mayo de 1996.

¹ MC. Investigador del Programa de Conservación de Suelos en el Campo Experimental "Pabellón", CEPAB, CIR Norte-Centro, INIFAP.

² MC. Investigador del Programa de Matemáticas Aplicadas en el Campo Experimental "Pabellón", CEPAB, CIR Norte-Centro, INIFAP.

SUMMARY

It is well known that the crop canopy and its residues on the soil surface reduce runoff and soil erosion. This has been demonstrated for forest, range and agricultural soils. Nevertheless, in agricultural areas the reduction of runoff and soil erosion is less as compared with the other areas. The objective of this study was to demonstrate the interaction between the crop canopy and the kinetic energy of the rainfall during crop development. The study was conducted from 1989 to 1991 at the Sandoval Experimental Station, Ags. where four runoff plots (10 x 2 m) were established Planosol haplic. Two of the plots were sown with corn maize at 35,000 plants/ha, while in the other two no crop was grown. Soil and water losses were measured after each rainfall event. Maximum rainfall intensity was estimated using rainfall charts for different periods (5, 10, 15, 30, 45, 60, 90, and 120 min). The rainfall erosivity index was also estimated taking as index the EI_{30} . Percent canopy development of corn plants was measured each 10 days using the telescopic method. Results have shown that 54% of the erosivity occurred during the first month of the crop. This originated soil and water losses of 1.84 and 0.70 $kg.m^{-2}$, 186.2 and 170.8 mm, respectively. Even though, canopy of corn plants reached 75% however, more than 50% of soil and water losses occurred during the first growth stages when plants had less than 50% crop canopy.

INTRODUCCIÓN

La erosión del suelo en México alcanza proporciones cada vez más graves, estimándose que el 80% de la superficie del país está erosionada. El carácter destructivo de la erosión causada por el agua es más acentuado donde la capa de vegetación es escasa y las lluvias son de duración corta y de intensidad alta. En Aguascalientes, como en casi todas las regiones temporaleras de las zonas áridas y semiáridas del país, los terrenos se encuentran la mayor parte del año sin cobertura vegetal, por lo que el efecto de los diversos agentes erosivos es más significativo.

De acuerdo con estimaciones efectuadas por la SARH (14) en 1992, en el estado de Aguascalientes se han alcanzado niveles de erosión que se pueden calificar de moderados o severos, en poco más del 81% de la superficie. No obstante lo anterior, la información generada sobre erosión hídrica y eólica en esta entidad es muy reducida, lo que refleja la limitada atención que se le ha dado al problema. Cabe destacar que existe un balance negativo entre la degradación del suelo provocada por la erosión y las actividades para su conservación; por ello, la planeación de estrategias de conservación de suelo y agua en el estado requiere del conocimiento científico de las relaciones entre los factores que ocasionan las pérdidas de suelo por agua y viento y aquéllos que las reducen, a fin de evitar el fracaso de las prácticas de conservación seleccionadas.

Bajo este contexto, es prioritaria la recopilación de información al respecto para tomar medidas que procuren la solución de este problema y, dado que

la erosión hídrica tiene gran importancia en esta región, es necesario el conocimiento y análisis de los parámetros que inciden en el fenómeno erosivo tales como la intensidad de lluvia -por ser ésta una de las características físicas que determina la erosividad de la lluvia- y también la dinámica de la cobertura vegetal y su interacción con el proceso erosivo, que producen una combinación de fuerzas que aceleran y atenúan dicho proceso. Sin embargo, es sumamente compleja la interacción de cada condición, ya que se presentan a la vez una serie de variables que hacen impredecible dicha interacción.

Este estudio se realizó con el objetivo de demostrar la interacción que existe entre la cobertura vegetal y la energía cinética de la lluvia durante el desarrollo del cultivo y además para resaltar la importancia de la protección del suelo en el control de la erosión.

REVISIÓN DE LITERATURA

Es bien sabido que las interacciones entre tamaño, velocidad de caída y forma de las gotas de lluvia, así como entre la cantidad, intensidad y duración de la tormenta y la velocidad del viento determinan el poder erosivo de la lluvia y esto a su vez está regulado por la energía cinética de la lluvia y por su momento de acuerdo con lo señalado por Wischmeier (15) en 1959, Hudson (9) en 1977 y Kirkby y Morgan (10) en 1985.

Existen otras evidencias de la asociación que se da entre la erosión e intensidad de la lluvia. La intensidad de la lluvia es importante como potencial de la erosividad, debido a las correlaciones altas encontradas entre aquélla y la pérdida de suelo, como coincidieron en señalar algunos investigadores, entre ellos: Macías(11) en 1992, Dedecek (5) en 1989, Amézquita y Forsythe (1) en 1985 y Wischmeier y Smith (16) en 1958. Estos últimos autores proponen un índice de erosividad, producto de la energía cinética de la lluvia multiplicada por la intensidad máxima en 30 minutos, denotado para cada evento por EI_{30} y por R a nivel anual. Este índice ha mostrado buenas correlaciones con las pérdidas de suelo a nivel anual, tanto en México como en otras partes del mundo, según lo indicaron Arias (2) en 1980, Ríos(13) en 1987 y Cortés (4) en 1990.

La cobertura vegetal reduce la erosión hídrica en dos formas. La primera es a través del efecto de protección del suelo contra el impacto directo de las gotas de lluvia, lo cual disminuye el salpicado, y además por el efecto cementante del sistema radicular sobre las partículas en el perfil del suelo,

que causa modificaciones a la estructura del suelo. La segunda, mediante el incremento del contenido de la materia orgánica debido a la descomposición de las raíces y la subsecuente formación de cavidades tubulares que mejoran el movimiento de aire y agua en el suelo; asimismo, por el aumento en la rugosidad hidráulica del escurrimiento superficial, que disminuye la velocidad del flujo, lo cual incrementa el tiempo de oportunidad para la infiltración y reduce la pérdida de suelo, según lo señalado por Breneman y Laflen (3) en 1982.

Sobre el efecto de las coberturas vegetales en la reducción de las pérdidas de suelo y escurrimiento en México, Ríos (13) en 1987 indicó que los cultivos de alta densidad como la cebada, avena y trigo resultaron significativamente más eficientes en el control de la erosión y escurrimiento superficial con 78 y 65%, respectivamente, en comparación con 66 y 30% de eficiencia de las asociaciones de cultivos de escarda como maíz-frijol y maíz-haba, que a su vez superaron al maíz y frijol con escarda, los cuales presentaron eficiencias de 43 y 25%, respectivamente.

MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación se estableció en los terrenos del Campo Experimental "Pabellón", en el ejido de Sandoval, Ags., ubicado en el área conocida como la región de El Llano, a 22° 11' Latitud Norte y 102° 20' Longitud Oeste y una altitud aproximada de 2,100 msnm.

El clima de la región de acuerdo al sistema de clasificación de Köppen modificado por García (7) en 1974, correspondió a un BS₁Kw(w) con una precipitación media anual de 450 mm, distribuida principalmente entre junio y septiembre.

El suelo corresponde a la asociación de las siguientes subunidades: Planosol eútrico (We) con Xerosol háplico (Xh), principalmente en la fase dúrica y más localizadamente la dúrica profunda, con clase textural media; es decir, migajón arcillo-arenoso con una profundidad menor a 50 cm y una pendiente media del 2%.

Entre 1989 a 1991 se midió el escurrimiento en lotes de 10 m de largo por 2 m de ancho, y también se evaluó la pérdida de suelo y el volumen de escurrimiento superficial por evento de lluvia, así como el grado de cobertura y altura de planta y la precipitación en diferentes etapas de crecimiento del cultivo.

Los tratamientos de cobertura evaluados en esta investigación fueron dos: (1) Lote de escurrimiento sin vegetación ni cobertura durante todo el año, sometido a barbecho continuo todos los años más aplicación de herbicida; y (2) Lote de cultivo con maíz sembrado en forma tradicional, es decir, como se cultiva en la región temporalera de Aguascalientes. Ambos tratamientos tuvieron dos repeticiones y una área útil de 20 m².

El sistema de labranza que se empleó en la preparación del terreno, previo al establecimiento de los lotes de escurrimiento, fue la tradicional que se realiza todos los años en la misma época, y consistió de un paso de arado de discos, un paso de rastra y un razamiento para tener una pendiente uniforme. En forma simultánea a la preparación de la cama de siembra se colocaron láminas galvanizadas de 25 cm de ancho y 15 cm de enterrado para delimitar los lotes de escurrimiento.

Se sembró el maíz H-204 a una densidad de población de 35,000 pl/ha, con distancia entre hileras de 0.76 y entre plantas de 0.34 m. Los escurrimientos superficiales generados en cada lote fueron conducidos a los colectores instalados en las fosas que se hicieron perpendiculares a la pendiente natural (1%) del terreno, utilizando tubos de P.V.C de 7.5 cm de diámetro. Los colectores fueron unos tanques de metal con capacidad de 200 litros, los cuales permiten coleccionar los materiales finos y gruesos removidos de los lotes y por su forma regular son sencillos de calibrar. En cada tratamiento el escurrimiento superficial y las pérdidas de suelo se cuantificaron después de cada evento, considerando como evento la lluvia registrada en 24 hr.

Respecto a los materiales transportados por el escurrimiento y la lluvia, el material grueso se colectó en una trampa de sedimento, es decir, en una bolsa de tela de mosquetero que se fijó al tubo conductor del escurrimiento dentro del tanque de almacenamiento, y el material fino, en el equipo receptor.

Se tomó una muestra de agua después de cada evento y el material muestreado se llevó al laboratorio donde se puso en la estufa a una temperatura de 100°C durante 24 hr, para evaporar el agua y determinar la cantidad de partículas de suelo en suspensión por volumen de agua colectado.

El registro de la lluvia para el cálculo de las intensidades máximas a diferentes períodos de duración (5, 10, 15, 30, 45, 60, 90 y 120 minutos) y

del índice de erosividad, se realizó por medio de pluviogramas diarios obtenidos desde enero de 1989 a diciembre de 1991.

Las diferentes intensidades ocurridas durante un evento particular se determinaron con las coordenadas de tiempo (t) y altura (h) de la lluvia en los puntos de cambio de la pendiente de la curva trazada por el pluviógrafo.

Para determinar la relación entre las pérdidas de suelo y las características de la precipitación, se trabajó con 25 eventos que produjeron escurrimiento y pérdidas de suelo, los cuales se separaron en tres grupos de acuerdo con la cantidad de lluvia precipitada cinco días antes de cada evento (humedad antecedente). Para hacer la separación de grupos de lluvia con base en la condición de humedad antecedente (seca, húmeda y saturada), se utilizó el criterio de la lámina de agua necesaria para que el suelo en estudio alcanzara su punto de capacidad de campo (CC) y saturación (SAT), utilizando sus valores de densidad aparente (D_a), CC y punto de marchitez permanente (PMP) a una profundidad (P) de 10 cm. Para calcular la lámina de agua (L_a), se utilizó la siguiente expresión:

$$L_a = P \cdot D_a (CC - PMP) / 100 \quad (1)$$

Con base en el criterio anterior, a continuación se describen las condiciones de humedad antecedentes:

a) *Humedad antecedente condición seca.* Es la humedad que podría almacenar el suelo en estudio, en un rango que teóricamente varía de 0% de humedad a capacidad de campo, por lo que tomando una profundidad de 10 cm, este valor fue de 0-26 mm; por lo tanto, las lluvias que formaron este grupo fueron todas aquellas que no excedieron los 26.04 mm en los cinco días anteriores a la lluvia considerada.

b) *Humedad antecedente condición húmeda.* Se determinó con base en la cantidad de agua necesaria para llevar al suelo desde capacidad de campo a saturación en una profundidad de 10 cm; tal cantidad fue de 26.04 a 57 mm los cinco días anteriores.

c) *Humedad antecedente condición saturada.* Se calculó de la misma manera, solo que aquí se incluyeron las lluvias en las que la cantidad de precipitación los cinco días anteriores al evento habían superado los 57 mm de precipitación.

En cada humedad antecedente se relacionó las diferentes intensidades y los índices de erosividad de cada lluvia con sus correspondientes pérdidas de suelo y agua.

La evaluación de la altura y cobertura del cultivo sobre el suelo se llevó a cabo durante todo el ciclo vegetativo, utilizando una regla graduada en centímetros y el método de barras-contador descrito por Hartwing y Laflen (8) en 1978, y el transecto sobre una línea indicado por Richards *et al.* (12) en 1984, con la variante de miras telescópicas ideado por Ríos (13) en 1987 para evaluar coberturas vegetales. El método consiste en observar el cultivo desde la parte superior y en forma perpendicular a la superficie del suelo, a través de diez cursores colocados en una barra horizontal apoyada sobre un soporte.

En este trabajo, en cada fecha de evaluación (cada diez días, de la siembra a la cosecha) se realizaron 100 observaciones, distribuidos en forma equidistantes dentro del lote de escurrimiento sembrado con maíz. El porcentaje de cobertura en cada etapa se determinó dividiendo el número de veces en que las observaciones realizadas a través de las miras telescópicas de los aparatos incidieron sobre alguna parte de la planta, entre el total de observaciones.

Con los datos de altura y cobertura del cultivo recabados en los tres años de estudio se ajustaron modelos de predicción que describieron mejor el comportamiento de dichas variables.

La energía interceptada se determinó mediante el producto de la cantidad de energía cinética cuantificada a intervalos decenales por el porcentaje de cobertura del cultivo en ese mismo intervalo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis de la precipitación.

La precipitación anual registrada durante 1989, 1990 y 1991 fue de 338.5, 741.0 y 782.5 mm, y provino de 33, 48 y 45 eventos, respectivamente. De acuerdo con su magnitud, el 33.4% del número de eventos estuvo entre 0 y 5 mm, el 25.5% entre 5 y 10 mm, el 13.4% entre 10 y 15 mm y el 27.7% restante se distribuyó entre eventos cuya cantidad de lluvia fue mayor a 15 mm, como se muestra en el Cuadro 1. Estos datos indican que el 58.9% del número de eventos son de baja intensidad o sea menor a 10 mm; por lo tanto, son de bajo potencial para causar erosión.

CUADRO 1. NÚMERO DE EVENTOS LLUVIOSOS POR MAGNITUD EN LOS TRES AÑOS DE ESTUDIO EN SANDOVALES, AGS., CEPAB, INIFAP. 1996.

Magnitud de lluvia (mm)	1989		1990		1991		Porcentaje promedio
	Núm.	%	Núm.	%	Núm.	%	
0 - 5	23	46.9	17	35.4	8	17.8	33.4
6 - 10	10	20.5	13	27.0	13	28.9	25.5
11 - 15	6	12.2	6	12.5	7	15.6	13.4
16 - 20	2	4.1	3	6.3	1	2.2	4.2
21 - 25	2	4.1	3	6.3	4	8.9	6.4
>25	6	12.2	6	12.5	12	26.6	17.1
Total	49	100.0	48	100.0	45	100.0	100.0

Lo anterior se comprobó al encontrar que el 41.1% del número de eventos anuales, con magnitud mayor a 10 mm, provocaron más del 80% de las pérdidas de suelo en las áreas de escurrimiento; sin embargo, las lluvias mayores a 10 mm no siempre causaron erosión, lo cual puede estar asociado con la duración de la tormenta y las condiciones del suelo al presentarse el evento.

Distribución de los parámetros de erosividad en el año.

En las Figuras 1a y 1b se presenta gráficamente la distribución acumulada de la lluvia y el índice de erosividad (EI_{30}) a través del año en períodos decenales de días para la zona temporalera de Aguascalientes. En tales figuras se puede observar que la temporada de lluvias abarca un gran período (períodos del 15 al 30, aproximadamente), lo que significa que la presencia de lluvias en la fase inicial de desarrollo de un cultivo implica un cuidado mayor en las medidas de conservación de suelos en esta región, pues en esta etapa del cultivo el suelo se encuentra casi totalmente desnudo y es afectado severamente por la energía de las lluvias tempranas.

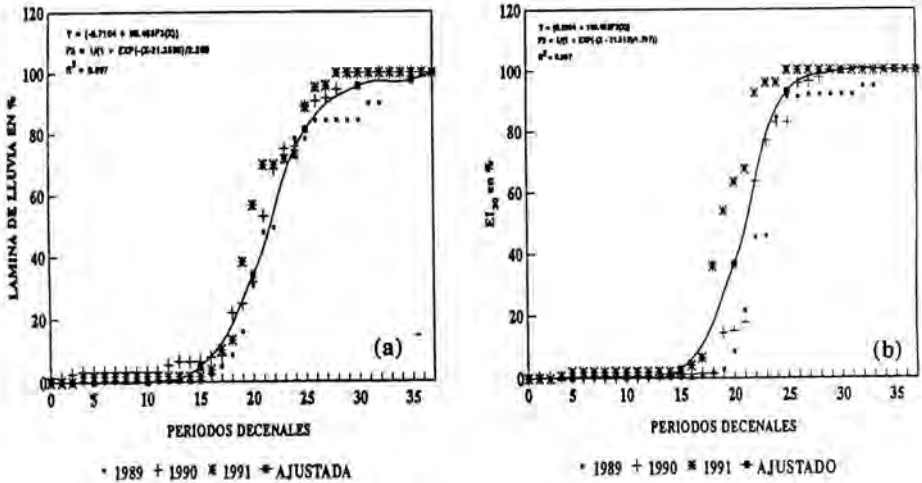


Figura 1. Distribución anual de lluvia y EI_{30} en periodos decenales en Aguascalientes. CEPAB, INIFAP, 1996.

En el Cuadro 2 se muestra que hasta el 29 de junio en el área bajo estudio ha ocurrido sólo una pequeña cantidad de lluvia (9.8%). No obstante, para julio se han recibido las lluvias fuertes del mes y se ha acumulado la mitad de la precipitación anual. También las proporciones de la lámina de lluvia, energía cinética (E_c) y EI_{30} que se registran antes del 29 de junio, representan en promedio menos del 10%; sin embargo, en el mismo Cuadro 2 se observa que más del 50% de la lámina de lluvia, E_c y EI_{30} se presentan antes del 29 de julio y, como consecuencia, hasta esa fecha se pierden en promedio el 30% del suelo y agua del año. Este hecho acentúa el efecto de la erosividad de la lluvia en esta región que resulta ser de escasa precipitación.

CUADRO 2. ENERGÍA DE LAS LLUVIAS TEMPRANAS Y PÉRDIDAS DE SUELO Y AGUA EN LA REGIÓN TEMPORALERA DE AGUASCALIENTES. CEPAB, INIFAP, 1996.

Tratam.	Periodo decenal	Lámina de lluvia		EC*		E ₃₀		Pérdida de suelo		Escurrimiento	
		mm	%	Mjha ⁻¹ mm	%	Mjha ⁻¹ mm	%	Kg. m ⁻²	%	mm	%
Lote desnudo	1-18 (jun29)	60.5	9.8	12.8	10.5	137.2	3.7	0.0	0.0	0.0	0.0
Lote de maíz								0.0	0.0	0.0	0.0
Lote desnudo	1-21 (jul 29)	312.2	50.3	63.9	52.5	1342.6	54.5	1.84	31.0	186.2	30.0
Lote de maíz								0.70	30.0	170.8	28.9

* Energía Cinética, E₃₀ = Índice de erosividad.

Las curvas de distribución de la lluvia, E_c y E₃₀ en el año son útiles en los estudios referidos al tiempo óptimo para el establecimiento de vegetación, así como para determinar la fecha adecuada para la instrumentación de prácticas mecánicas para la conservación del suelo y el agua. Puede servir también para efectos de recomendación de fechas de siembras en la región.

Por otro lado, tratando de armonizar la distribución decenal de la lluvia y la erosividad a través del año, se probaron diferentes modelos de predicción (lineal, logarítmicos, exponencial, logístico y potencial), siendo el modelo de tipo logístico el de mejor ajuste para lluvia y E₃₀, ya que el coeficiente de determinación para dichos parámetros fue alto (R²= 0.99) y el error estándar, aceptable (2.7 y 2.54% resp.), tal como se muestra en las Figuras 1a y 1b.

Distribución de las variables de altura y cobertura vegetal en el año.

La cobertura aérea de las plantas constituye el primer obstáculo natural que atenúa la fuerza erosiva de la lluvia. La cobertura vegetal, además de amortiguar la energía de la lluvia, intercepta parte de ésta y modifica el tamaño de gotas; lo anterior es importante debido a que incluso con una buena cobertura vegetal aérea, en cultivos altos como el maíz puede ocurrir una erosión mayor que la esperada, porque la altura desde la cual caen las

gotas coalescentes es suficiente para que éstas alcancen grandes diámetros y velocidades terminales y, en consecuencia, ellas pueden ser más erosivas que las gotas que impactan directamente al suelo.

Con el fin de analizar los cambios en las características físicas de la lluvia, originados por la intercepción de la cobertura vegetal de diferentes tipos, grados y altura de cultivos agrícolas de temporal, en la Figuras 2a y 2b se presenta el comportamiento de la altura y cobertura vegetal aérea del maíz, así como sus modelos de predicción.

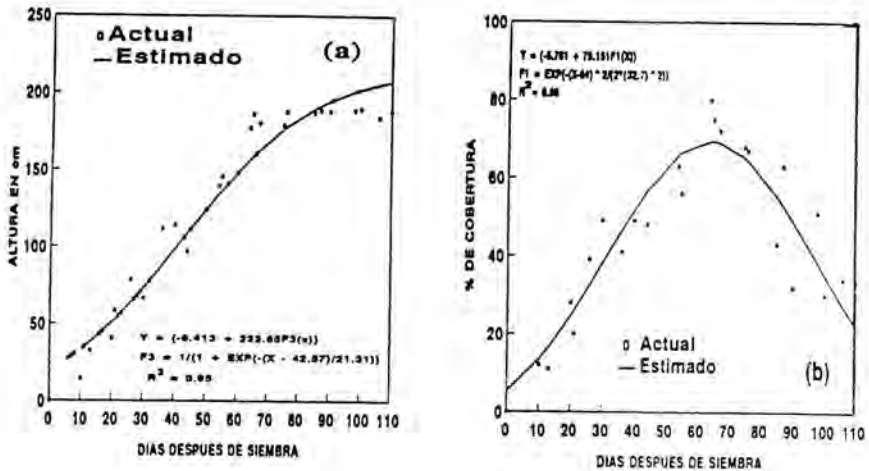


Figura 2. Distribución anual de la altura y cobertura vegetal del maíz de temporal en Aguascalientes. CEPAB, INIFAP, 1996.

Los valores máximos de altura de planta fluctuaron alrededor de los 185 cm y los de cobertura vegetal alrededor del 75%, los cuales se alcanzaron aproximadamente a los 75 y 100 días después de la siembra, tal vez debido a las condiciones de humedad del suelo durante el desarrollo del cultivo. La altura del maíz presentó un mejor ajuste a la función de crecimiento tipo logístico; esto indica un crecimiento rápido que tiende a un máximo, el cual

permanece constante, como se muestra en la Figura 2a. Con respecto a la cobertura vegetal, ésta presentó un mejor ajuste a la curva de tipo cuadrático, es decir, un crecimiento rápido con su punto máximo de inflexión antes de llegar a la madurez fisiológica.

Una determinada cobertura (expresada en porcentaje) proporciona un simple punto de estimación en un instante del período de crecimiento de un cultivo o vegetación. Esto significa que, si un evento de lluvia ocurre en ese preciso instante, el valor de la cobertura es igual al porcentaje de lluvia que probablemente fue interceptada antes de caer al suelo. Por lo tanto, tal medida es de bajo valor intrínseco. Considerando este criterio, con el objetivo de estimar la interceptación de la lluvia estacional se cuantificó la cobertura vegetal y los eventos de lluvia de manera decenal durante la estación de crecimiento para los tres años de estudio. El análisis demostró que el 40% de la energía cinética de la lluvia anual promedio fue interceptada por la cobertura vegetal en el ciclo de cultivo, lo cual caracteriza al maíz como un cultivar de baja protección del suelo.

Distribución de la intensidad de la lluvia a diferentes intervalos de tiempo.

Existen evidencias considerables de la relación entre la intensidad de la lluvia y la erosión del suelo; además, la intensidad es importante como indicador potencial de la erosividad porque es la única característica de la lluvia que, junto con la cantidad de agua precipitada, suele registrarse en las estaciones meteorológicas convencionales.

Con objeto de analizar cada una de las intensidades máximas de lluvia a diferentes períodos de duración (5, 10, 15, 30, 45, 60, 90 y 120 minutos), en la Figura 3 se muestran las intensidades máximas a diferentes intervalos de tiempo, de cada una de las lluvias registradas, las cuales provocaron erosión. En esta gráfica los extremos representan los cuartiles superior e inferior de los datos; la línea que divide la caja representa la mediana; la longitud de las líneas representan la magnitud de las colas y los límites de ésta son los valores extremos de los datos que aún no se consideran como puntos aberrantes.

Si se denota como QU al cuartil superior, QR al cuartil inferior e I a la amplitud intercuartiles, los límites superior e inferior para definir los valores aberrantes están dados por $QU + 1.5(I)$ y $QR - 1.5(I)$. Los valores aberrantes en los datos se presentan por pequeños puntos aislados; los límites superior e inferior de la caja, como antes se mencionó, representan

el tercer y primer cuartil, por lo que la amplitud intercuartiles especifica la amplitud en que cae el 50% de los datos, de acuerdo con lo señalado por Flores (6) en 1993. En la Figura 3 se observa que al aumentar el valor del intervalo de intensidad máxima de la lluvia, la intensidad disminuye gradualmente, así como su amplitud intercuartílica, lo cual indica que a mayor intervalo de tiempo, los valores de intensidad de todas las lluvias son más uniformes; así mismo, se observa que en la mayoría de los casos el 50% de los datos presentaron intensidades máximas (5, 10, 15, y 30 minutos) mayores a 20 mm hr^{-1} .

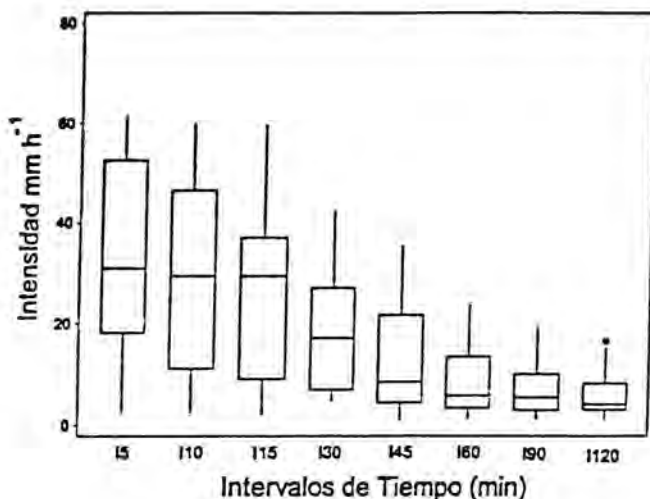


Figura 3. Distribución de la intensidad de la lluvia en diferentes intervalos de tiempo usando las gráficas de cajas. CEPAB, INIFAP. 1996.

Las intensidades máximas para los intervalos de duración de 45, 60, 90 y 120 minutos, destacan por sus valores bajos, que fueron menos de 15 mm hr^{-1} , y por su relativa homogeneidad, que se manifiesta por la menor altura de sus casillas. Se puede inferir entonces que las intensidades máximas para los intervalos de duración de 5, 10, 15, y 30 minutos son las que están más relacionadas con el problema de erosión hídrica, especialmente las I_5 ,

I_{10} , e I_{15} , si se observa la longitud y valores de sus colas que son mayores a las que presenta el resto de las intensidades máximas.

Por otro lado, en la Figura 3 también se puede observar la existencia de asimetría en los datos, con la cola extendida hacia los valores altos (a la izquierda, si se hiciera la gráfica de frecuencias). Esto resulta lógico si se considera que esta variable tiene mejor ajuste con la distribución gamma incompleta que con la normal. De lo anterior se concluye que los valores más frecuentes están por debajo de la media aritmética, comprobándose entonces lo discutido anteriormente, que sólo un bajo porcentaje de lluvias, en cuanto a número de eventos, acarrearán problemas de pérdidas de suelo.

Relación entre pérdidas de suelo e intensidad de lluvia.

Muchos investigadores han encontrado una relación muy estrecha entre la intensidad de la lluvia y las pérdidas de suelo, como lo señalaron Wischmeier y Smith (16) en 1958, Amézquita y Forsythe (1) en 1985, Cortés (4) en 1990 y Macías (11) en 1992. Lo anterior se confirmó en este trabajo al relacionar los parámetros de intensidad de lluvia y pérdida de suelo del lote de escurrimiento sin cobertura, y considerando el concepto de humedad antecedente en estas relaciones, se obtuvieron correlaciones altas entre estas dos variables.

En el Cuadro 3 se muestran los coeficientes de correlación que manifestaron las relaciones de cada una de las intensidades de lluvia, con la pérdida de suelo correspondiente a las condiciones de humedad antecedente.

De manera general se puede observar que existe buena correlación en casi todas las relaciones para todas las condiciones de humedad antecedente; sin embargo, en el caso de la humedad antecedente condición seca, las correlaciones más altas correspondieron a la relación I_{30} vs pérdida de suelo con un valor r de 0.85, mientras que para EI_{30} vs pérdida de suelo fue de 0.80. En el caso de la humedad antecedente condición húmeda también hubo buena correlación, como se muestra en el Cuadro 3; en esta condición, las correlaciones más altas fueron obtenidas por la relación E_c vs pérdida de suelo seguida por EI_{30} vs pérdida de suelo, con una r de 0.83 y 0.81, respectivamente.

Al relacionar las lluvias en general con sus correspondientes pérdidas de suelo y sin considerar la humedad antecedente, el grado de correlación

tiende a disminuir en la mayoría de las relaciones de intensidades y pérdidas de suelo como se muestra en el Cuadro 3; con esto se demuestra la importancia que tiene la humedad antecedente del suelo que, junto con la intensidad de la lluvia y las características hidráulicas del suelo, definen el momento del inicio del transporte de sedimentos por el escurrimiento.

CUADRO 3. CORRELACIÓN ENTRE LAS PÉRDIDAS DE SUELO POR EVENTO E INTENSIDADES MÁXIMAS DE LLUVIA EN DIFERENTES INTERVALOS DE TIEMPO Y EL PRODUCTO DE ÉSTAS CON LA ENERGÍA CINÉTICA DE LA LLUVIA. CEPAB, INIFAP. 1996.

Intensidades máximas	Condición de humedad antecedente			
	A	B	C	D
I ₅	0.81	0.86	0.87	0.70
I ₁₀	0.76	0.83	0.88	0.65
I ₁₅	0.81	0.85	0.88	0.76
I ₃₀	0.85	0.88	0.90	0.80
I ₄₅	0.75	0.78	0.81	0.70
I ₆₀	0.70	0.75	0.80	0.53
I ₉₀	0.55	0.70	0.74	0.50
I ₁₂₀	0.62	0.73	0.76	0.62
Ec	0.78	0.83	0.85	0.70
EI ₃₀	0.80	0.81	0.88	0.70
r(media)	0.74	0.80	0.84	0.67

A = Condición de humedad antecedente Seca; B = Húmeda; C = Saturada y D = No se consideró el factor humedad.

Interacción de la cobertura vegetal con las pérdidas de suelo y agua.

Las interacciones entre la cobertura vegetal y las pérdidas de suelo y agua se muestran en la Figura 4. Aguascalientes tiene un periodo de lluvias estacional, cuya proporción efectiva cae entre junio y septiembre, y los valores picos de erosión ocurren en julio y agosto.

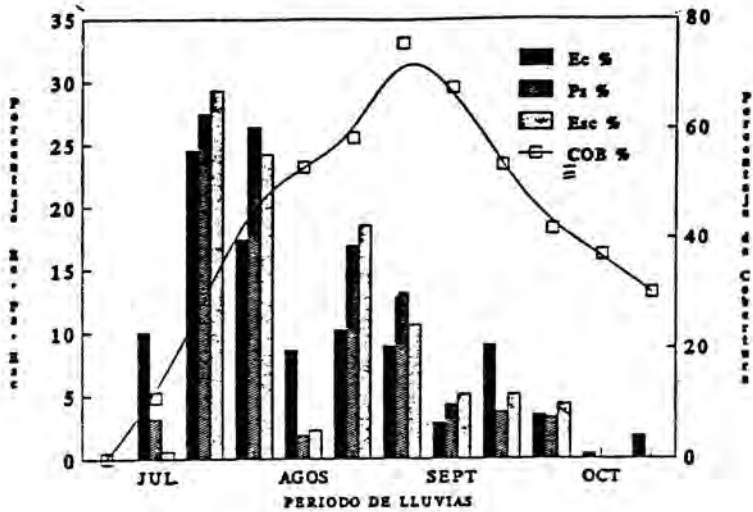


Figura 4. Distribución media de la cobertura vegetal (Cob) de Maíz H-204, energía cinética (Ec), pérdida de suelo (Ps) y agua (Esc) en Sandoval, Ags., durante 1989 a 1991. CEPAB, INIFAP. 1996

En la Figura 4 se muestra cómo el escurrimiento y las pérdidas de suelo tienden a reducirse al incrementarse la cobertura vegetal del cultivo. Al comienzo de las lluvias el suelo labrado es capaz de absorber altas cantidades e intensidades de lluvia; no obstante, conforme se va estableciendo el temporal, se incrementa la humedad del suelo y se compacta la superficie de éste, lo que provoca grandes pérdidas de suelo y agua; sin embargo, al mismo tiempo la cobertura vegetal del cultivo de maíz se desarrolla y comienza a cubrir una gran parte de la superficie del suelo, dándole protección, como se puede observar en la Figura 4. El pico de escurrimiento y de pérdidas de suelo ocurren en julio, cuando la cobertura del cultivo todavía no está bien establecida (20 a 40%) y la humedad del suelo es suficientemente alta para iniciar el proceso de erosión y escurrimiento. En agosto la cobertura del cultivo llega a su máximo desarrollo, proporcionándole la máxima protección al suelo contra el impacto de las gotas de lluvia; además, hay menos humedad en el suelo debido a la transpiración del cultivo y consecuentemente decrece el escurrimiento y con ello las pérdidas de suelo.

erosión y escurrimiento. En agosto la cobertura del cultivo llega a su máximo desarrollo, proporcionándole la máxima protección al suelo contra el impacto de las gotas de lluvia; además, hay menos humedad en el suelo debido a la transpiración del cultivo y consecuentemente decrece el escurrimiento y con ello las pérdidas de suelo.

CONCLUSIONES

1. La humedad antecedente del suelo, junto con la intensidad de la lluvia, define el momento del inicio del transporte de sedimentos por el escurrimiento.
2. La cobertura vegetal del cultivo de maíz logró interceptar el 40% de la energía cinética de la lluvia precipitada durante todo el ciclo del cultivo, lo cual lo caracteriza como un cultivar de baja protección del suelo.
3. El 54% de la erosividad se presentó en los primeros 30 días de crecimiento del cultivo, lo cual provocó pérdidas de suelo y agua del orden de 1.84 y 0.70 kg. m⁻²; 186.2 y 170.8 mm, de agua escurrida, respectivamente.
4. Aunque el cultivo de maíz alcanzó valores máximos de cobertura del 75%, más del 50% de las pérdidas de suelo y agua se concentraron en las primeras etapas de desarrollo del cultivo, cuando éste tenía menos del 50% de su cobertura vegetal.

LITERATURA CITADA

1. Amézquita, E. and M. Forsythe. 1985. *Rainfall intensity erosivity index and erodibility in turrialba, Costa Rica*. En: Pla S., I. (Ed) Soil Conservation & Productivity proceedings. Maracay, Venezuela. pp 316-326.
2. Arias R., H. M. 1980. *El factor R de la ecuación universal de pérdidas de suelo en la cuenca del río Texcoco*. Tesis de M.C. Colegio de Postgraduados, Chapingo, Méx., 120 p.
3. Brenneman, L. G. and J.M. Lafien. 1982. Modeling sediment deposition behind corn residue. *Transaction of the ASAE* 25(5): 1245-1250.
4. Cortés, T., H. G. 1990. *Caracterización de la erosividad de la lluvia en México utilizando métodos multivariados*. Tesis de M.C. Colegio de Postgraduados. Montecillos, Méx. 168

5. Dedecek, R. A. 1989. Permanent Soil Covers on rainfall erosion. *Pesq. Agrop. Bras., Brasilia*. 24(4): 483-488.
6. Flores, M. F. J. 1993. *The effect of sensor position and shaded patterns on composite radiative temperatures over sorghum*. Ph. D. Dissertation, University of Nebrasska, Lincoln.
7. García, E. 1974. *Modificación al sistema de clasificación climática de Köppen*. Instituto de Geografía. UNAM. 247 p.
8. Hartwing, R. O., and M. Lafen. 1978. A meter stick method for measuring crop residue cover. *Journal of Soil and Water Conserv.* 33:90-91.
9. Hudson, N. W. 1977. *Soil conservation*. Cornell University Press. Ithaca, New York. 319 p.
10. Kirkby, M. J. y R. P. C. Morgan. 1985. *Erosión de suelos*. Trad. del inglés por Hurtado V.J. Ed. Limusa. México. 375 p.
11. Macías, D., R. 1992. *Influencia de diferentes sistemas de labranza y coberturas del suelo sobre el control de la escorrentía, la erosión y el rendimiento de forraje del maíz*. Tesis de M.C. Colegio de Postgraduados, Montecillos, Méx. 133 p.
12. Richards, B. K., M. K. Walter and R.E. Muck. 1984. Variation in line transect measurements of crop residue cover. *Journal Soil and Water Conserv.* 39 (1):60-61.
13. Ríos B., J. D. 1987. *Efecto de la cobertura vegetal en el proceso erosivo*. Tesis de M.C. Colegio de Postgraduados, Montecillos, Méx. 244 p.
14. SARH, Delegación Estatal Ags. 1992. *Estudio de niveles de erosión actual y permisible de la zona agrícola del Distrito de Desarrollo Rural 001, Ags.* Colegio de Postgraduados. 87 p.
15. Wischmeier, W.H. 1959. A rainfall erosion index for a universal soil loss equation. *Soil Sci. of Amer. Proc.* 23(3): 246-249.
16. _____, W.H. and D.D. Smith. 1958. Rainfall energy and its relation ships to soil loss. *Trans. Am. Geophys. Union.* 39: 285-291.