

## ASPECTOS CLIMATOLÓGICOS RELACIONADOS A LA MORFODINAMICA EXTERNA EN LA ZONA DE PURISCAL, COSTA RICA

Wilhelm-Günther Vahrson  
Carlos Cervantes  
Ileana Arauz  
Ruthnia Chacón  
Marvin Alfaro  
Gilberto Palacios  
Ligia Hernando  
Escuela de Ciencias Geográficas  
Universidad Nacional  
Heredia, Costa Rica

### RESUMEN

*La región de Puriscal está afectada por varios procesos de degradación diferentes: Erosión acelerada, deslizamientos superficiales y un deslizamiento de grandes extensiones en la ciudad misma.*

*Se analizan las características de las lluvias en esta zona y se llega a la conclusión que las lluvias no muestran ni las cantidades ni las intensidades excesivas como para provocar estos fenómenos.*

*Al mismo tiempo, para el caso del deslizamiento en Puriscal, se concluye que la época más crítica del año, por la gran cantidad de lluvias presente y por la gran probabilidad de temporales, está comprendida entre los meses de setiembre y octubre.*

### ABSTRACT

*The area around Puriscal, Costa Rica, is highly affected by different types of mass wasting processes: Erosion, superficial landslides and a very huge landslide of more than 60 has., partly inside the city of Puriscal itself.*

*In this study, we analyzed the characteristics of the rainfall and we concluded, that neither the rain-*

*fall quantities nor the rainfall intensities reach important magnitudes which can provoke these phenomena.*

*In the case of the largest Puriscal landslide, we determined as the most critical period September and October, because of the relatively high rainfall quantities and because of the high probability of long duration rain storms ("temporales").*

### INTRODUCCION

Los procesos de la morfodinámica externa, como los deslizamientos, las avalanchas de piedra y lodo o la erosión, están fuertemente ligados a situaciones climáticas y eventos hidrometeorológicos extremos.

Las lluvias de altas intensidades pueden disparar muchas veces deslizamientos superficiales que después se convierten en avalanchas de piedra y lodo, como ejemplo se puede mencionar la tormenta del 2 de julio 1987 en la cuenca del río Pejibaye y Grande de Orosi (VAHRSON, et al. 1988), al mismo tiempo influyen en alto grado en la tasa de la erosión hídrica.

Los grandes volúmenes de lluvias, sin importar mucho sus intensidades, pueden recargar las aguas subterráneas y así contribuir a una mayor presión de

los poros, reduciendo así la resistencia al corte. Este fenómeno influye en alto grado en el movimiento de los deslizamientos profundos; como ejemplo se puede mencionar el deslizamiento de San Blas, cuyo movimiento es más rápido durante la época lluviosa que durante la época seca.

En Puriscal se presentan varios de los problemas antes mencionados:

- 1) En grandes partes del cantón se presenta una gran degradación de los suelos por problemas de erosión hídrica.
- 2) La ciudad de Puriscal está construida sobre un gran deslizamiento que se mueve relativamente lento. Se presentó, como problema adicional, una alta actividad sísmica en esta zona, que, en combinación con grandes cantidades de lluvias, pudo aumentar la velocidad del deslizamiento. Según MARINO (comunicación personal), desde el año 1985 se presentó un aumento en la velocidad del deslizamiento.

Como estos fenómenos están relacionados a aspectos climatológicos e hidrológicos, se analizarán en este estudio las intensidades máximas de las lluvias para diferentes niveles de probabilidad y un balance hídrico, para poder determinar épocas críticas en cuanto al movimiento del deslizamiento.

## MATERIALES Y METODOS

Como materiales se analiza el registro de la estación Puriscal, para el análisis de las intensidades máximas de las lluvias, información pluviográfica existente, para el análisis de las cantidades, los valores promedios mensuales de las precipitaciones. Las observaciones pluviométricas del período 1940-1969 poseen una calidad aceptable con la excepción de algunos años. De 1970-1980, debido a una reubicación, la calidad de la información es muy baja, y después de 1980 sigue de manera normal. Por lo tanto, en los resultados aparecen los valores de las evaluaciones de los registros 1940-1969 y 1981-1989, en forma separada.

La información pluviográfica existente corresponde a los años 1970-1980; o sea, a la época de las observaciones muy defectuosas, sin embargo; tratándose de la única información disponible, se hizo el intento de una evaluación cuantitativa.

Los valores de la evapotranspiración potencial

están tomados de HANCOCK & HARGREAVES (1978).

Para el análisis de las intensidades máximas se utiliza el método de GUMBEL (1941), recomendado por VAHRSON y FALLAS (1988) para analizar series de eventos extremos de la precipitación en Costa Rica; la erosividad de las lluvias se determina según WOODWARD (1975).

Las cantidades se analizan a nivel de valores promedios mensuales mediante una versión modificada del balance hídrico según THORNTHWAITE y MATHER (1957). Se trata de un modelo hidrológico simple que utiliza como parámetros climáticos la precipitación mensual (PREC) y la evapotranspiración potencial mensual (EPOT), como parámetros edáficos los valores de la Capacidad del Campo y del Punto de Marchitez Permanente, los que se combinan con la profundidad de las raíces de las plantas para calcular la cantidad del agua disponible. Como resultados se obtienen la evapotranspiración actual (EACT), la recarga (REC) y el déficit para las plantas (DEF), que es la diferencia entre EACT y EPOT y cuantifica temporadas con stress hídrico para las plantas.

No se toma en cuenta los efectos y valores de la escorrentía superficial; por lo tanto, especialmente los valores de la recarga (REC) pueden estar sobreestimados y el déficit (DEF) subestimado.

## RESULTADOS

Las características climáticas generales de Puriscal.

La zona de Puriscal pertenece a la vertiente Pacífica de Costa Rica, la cual muestra una época seca marcada durante los meses de diciembre hasta marzo; desde enero hasta marzo los valores promedios de la precipitación son menores de 50 mm. (Fig. 1). La precipitación anual promedio llega a 2541 mm.

La época lluviosa está representada por los meses de mayo hasta octubre; la precipitación máxima con más de 400 mm. ocurre durante octubre. Se observa una disminución de las lluvias durante julio, que corresponde a la época conocida como veranillo de San Juan. En esta zona los meses de abril y noviembre son meses de transición entre la época lluviosa y la época seca. Durante los meses de diciembre a abril predominan los vientos alisios del noreste, mientras que desde mayo hasta noviembre los vientos del Pacífico (oestes ecuatoriales) son predominantes y

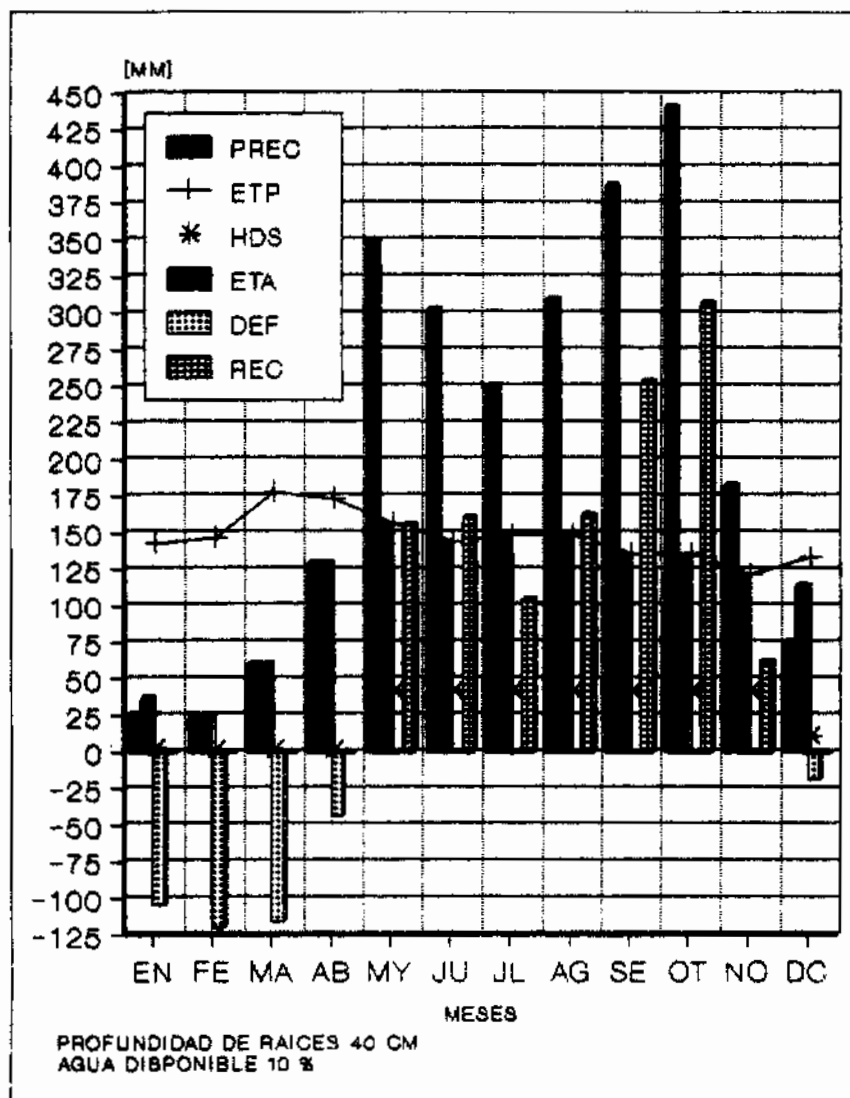


Fig. 1 Balance hídrico de la zona de Puriscal, Costa Rica. PREC = precipitación, ETP = evapotranspiración potencial, HDS = agua disponible para las plantas, ETA = evapotranspiración actual, DEF = déficit de agua para las plantas, REC = recarga, todos valores representan promedios mensuales.

aportan las lluvias en esta zona (HERRERA 1985).

La evapotranspiración potencial (ETP) oscila entre 120 mm. en noviembre y 176 mm en marzo (Fig. 1).

#### BALANCE HIDRICO

Para el cálculo del balance hídrico se utiliza el modelo de THORNTHWAITE y MATHER (1957). Se trata de un modelo hidroclimatológico simple, que

combina los valores de la precipitación (PREC) y de la evapotranspiración potencial (ETP) con características físicas de los suelos como la capacidad del campo, y el punto de marchitez permanente y las características de las plantas como su profundidad de raíces. El resultado son los valores de la evapotranspiración actual (ETA), la humedad del suelo en la zona de raíces (HDS), el faltante de agua para las plantas (DEF) y la recarga de aguas subterráneas (REC), suponiendo la infiltración total de la precipitación. En el caso presente se trabajó a nivel de

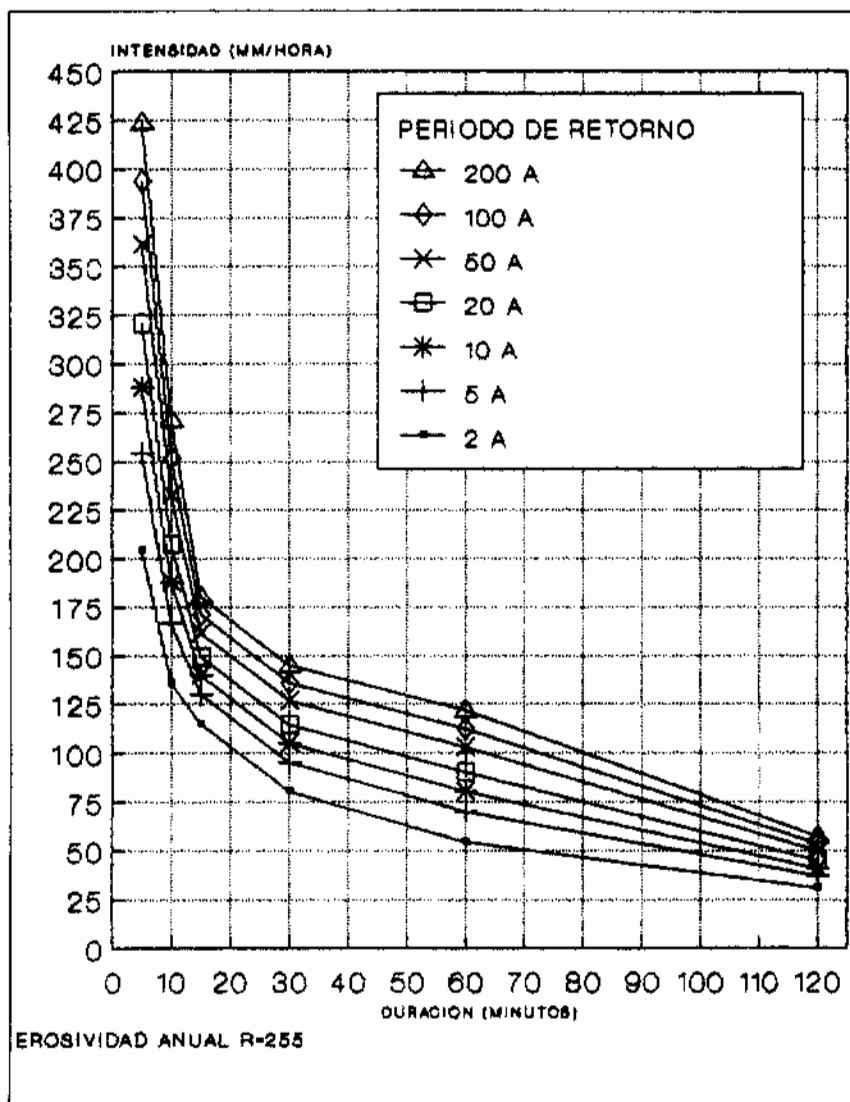


Fig. 2 Puriscal: Intensidad de las lluvias máximas anuales según su frecuencia (=período de retorno, de 2 hasta 200 años) y su duración.

valores mensuales promedios. La Fig. 1 muestra el balance hídrico para Puriscal, asumiendo un cultivo con una profundidad de raíces de 40 cm. y un volumen de agua disponible de 10%. Así, la cantidad de agua disponible para las plantas (humedad del suelo, HDS) oscila entre 0 y 40 mm.

La ETA es igual a la ETP cuando la precipitación es igual o mayor que la ETP; esto ocurre durante los meses de mayo a noviembre, de lo contrario es la suma de la precipitación caída en un mes y del agua del suelo cedida. Por lo tanto se puede observar en diciembre y enero una reducción de la HDS y valores

de la ETA, que están sobrepasando la PREC.

El déficit (DEF) es la diferencia entre ETA y ETP. Cuando la diferencia tiene un valor igual a cero, las plantas pueden satisfacer plenamente la demanda atmosférica de agua y no existe un riesgo de marchitamiento; mientras un aumento del déficit indica un faltante de agua para las plantas. Los valores mayores pueden observarse en los meses de enero hasta marzo (más de 100 mm.), mientras que el déficit relativamente bajo de diciembre indica, que, aunque ya comenzó la época seca, las plantas pueden abastecerse todavía con el agua almacenada en el suelo.

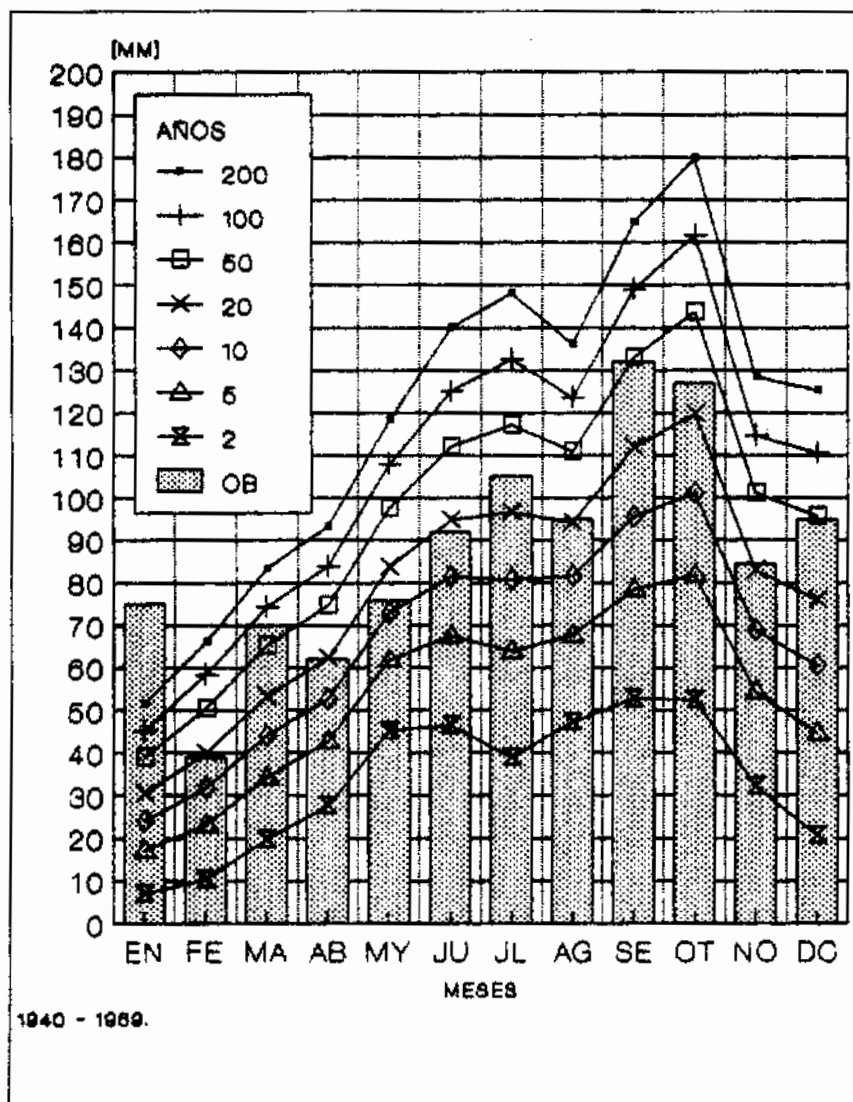


Fig. 3 Puriscal: Distribución mensual de las lluvias máximas diarias según sus períodos de retorno (polígonos), y los valores reales observados (columnas).

La recarga de aguas subterráneas (REC) sólo ocurre durante los meses de mayo a noviembre, oscilando entre 62 mm. y 307 mm. como valor máximo en el mes de octubre. La suma asciende a 1205 mm. como promedio anual. Este valor es de alta importancia para los procesos de lixiviación de los suelos. Al mismo tiempo, se puede relacionar la recarga de las aguas subterráneas con un ascenso del nivel freático y, por lo tanto, con un aumento de la presión de los poros.

## INTENSIDADES DE LA PRECIPITACION

La figura 2 expone las intensidades máximas posibles de las lluvias según sus períodos de retorno y sus duraciones. Esta información es de alto interés para las dimensiones de obras de conservación y la estimación de la erosividad pluvial, ya que aproximadamente 1/3 de la erosión anual corresponde a eventos con períodos de retorno de dos años o más; otro tercio corresponde a tres o cuatro eventos anuales y el resto a los eventos restantes con menores intensidades (JANSSON 1982).

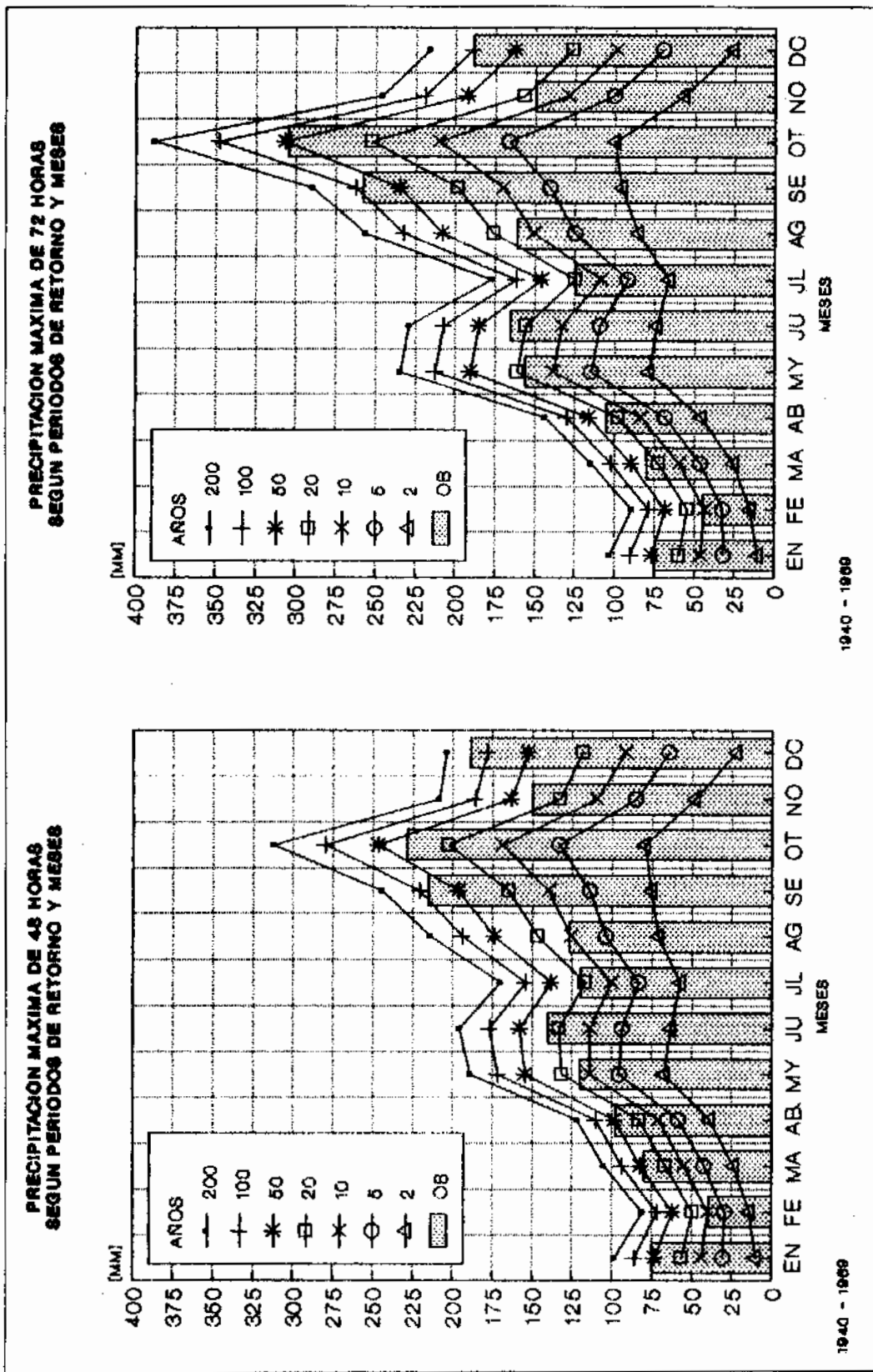


Fig. 4: Puriscal: Distribución mensual de las lluvias máximas con duraciones de 48 y de 72 horas según sus periodos de retorno (polígonos), y los valores reales observados (columnas).

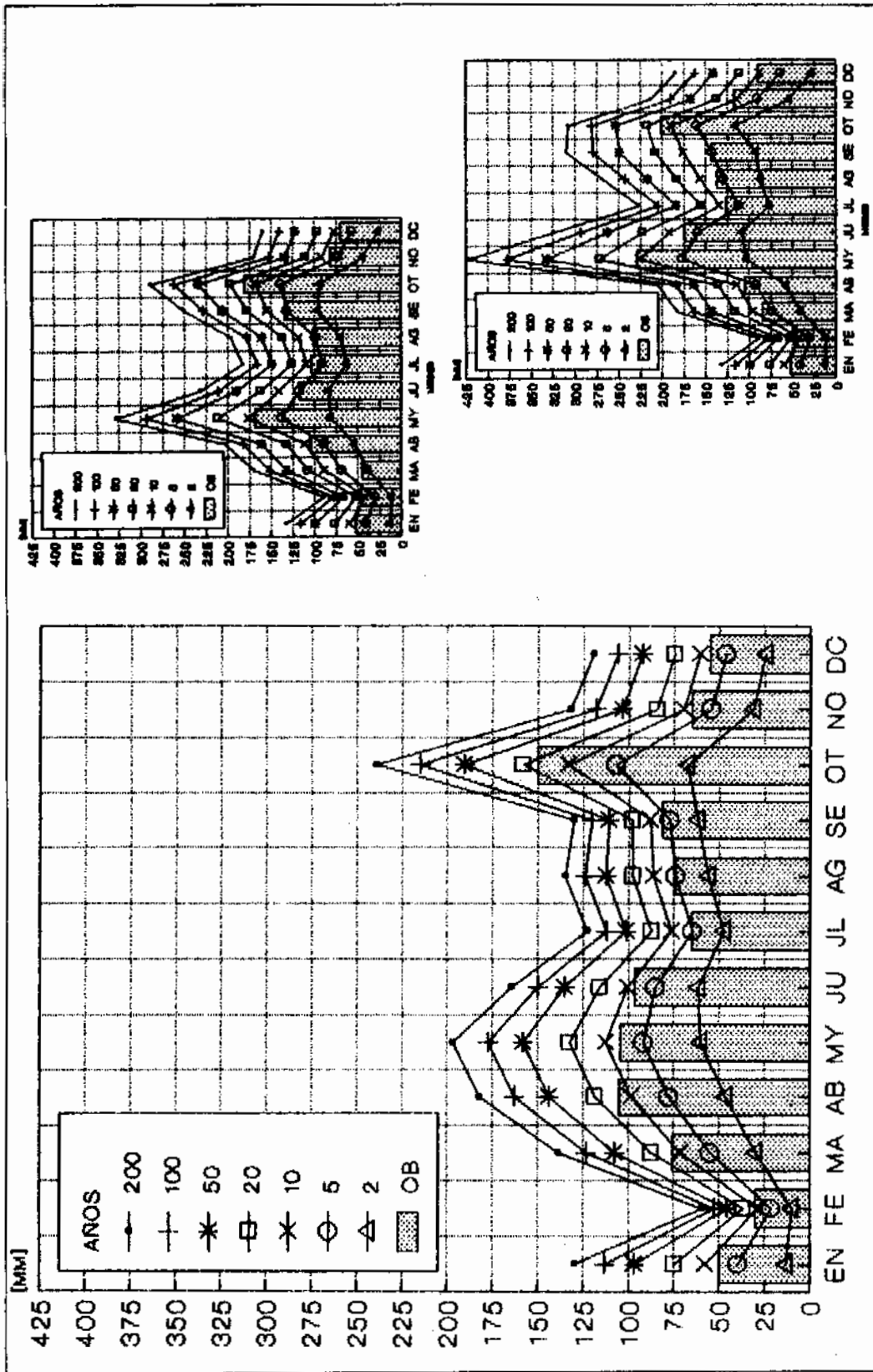


Fig. 5: Puriscal: Distribución mensual de las lluvias máximas con duraciones de 24, 48 y de 72 horas según sus períodos de retorno (polígonos), y los valores reales observados (columnas). Correspondiendo a un registro relativamente corto, se dan más irregularidades.

Para obras de conservación de suelos se utiliza muchas veces los valores de las intensidades de un período de retorno de 10 años para duraciones correspondientes al tiempo de concentración de las áreas de captación.

Puriscal presenta un valor de 140 mm./hora durante 15 minutos o de 70 mm./hora durante 60 minutos valores de intensidades moderadas, en comparación con otras zonas de Costa Rica (VAHRSON y DERCKSON, 1990).

La erosividad anual promedio de las lluvias corresponde al factor R de la ecuación universal de pérdida de suelos. Fue calculada para Costa Rica por VAHRSON (1990). La unidad es: 100 ton./acre, el presente valor de 255 unidades es a nivel de Costa Rica un valor moderado.

#### CANTIDADES MAXIMAS Y SU DISTRIBUCION MENSUAL

Las cantidades máximas para el período 1940-1969 se exhiben en las Figs. 3 y 4. Con fines comparativos se agrega el análisis del período 1981-1989 (Fig. 5); sin embargo, por su duración más larga los valores del primer período son más representativos. Esta información posee cierta importancia para el problema del deslizamiento en Puriscal, porque permite establecer épocas críticas en cuanto a la ocurrencia de temporales. En estas figuras se exponen, mensualmente, los valores máximos de las lluvias según períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50, 100 y 200 años, para duraciones de 24, 48 y 72 horas (polígonos). Las columnas representan los valores máximos realmente observados en todo el registro.

En el caso de los valores diarios, los valores máximos según diferentes probabilidades se presentan en el mes de octubre, seguido por el mes de setiembre, mientras los meses de noviembre hasta abril presentan cantidades menores. Los valores realmente observados presentan sus máximos con cantidades alrededor de 130 mm. también en los meses de setiembre y octubre. Una tendencia parecida, se presenta en los registros de 48 y 72 horas (Fig. 4). Aquí los valores observados ascienden a 225 y 300 mm. respectivamente, y como época más crítica se presentan los meses de octubre y setiembre, indicando una alta probabilidad de temporales. Tendencias parecidas existen en la evaluación de los años 1981-1989 (Fig. 5), sin embargo, aquí el mes de mayo presenta un máximo adicional que no aparece en los valores presentados en las Figs. 3 y 4. Se supone que se trata de una irregularidad por el registro existente muy corto.

Los valores máximos anuales según diferentes períodos de retorno se exhiben en el cuadro 1. Estos valores máximos anuales son, en comparación con otras estaciones en Costa Rica, bajos a moderados.

#### DISCUSION

El análisis de las lluvias y sus intensidades muestra, que en la zona de Puriscal no se presentan valores extremos, ni en los casos de lluvias de corta duración (tormentas), ni en los casos de las lluvias de duración larga, que corresponden a los temporales. O sea que la gran intensidad de los procesos degradacionales de esta zona no es explicable solamente por las lluvias. Al mismo tiempo, el análisis del balance hídrico, en combinación con el análisis de la frecuencia de llu-

Cuadro 1: Lluvias máximas con duraciones de 24, 48 y 72 horas para los diferentes períodos de observación. Los valores del registro 1981-1989 son generalmente mayores; sin embargo, este registro es demasiado corto para ser confiable.

	1940-1969			1981-1989		
	24h.	48h.	72h.	24h.	48h.	72h.
2	81.8	116.9	135.5	87.1	127.0	143.9
5	107.2	159.1	182.4	122.1	166.2	197.3
10	124.0	187.1	213.5	145.2	192.1	232.7
20	140.2	214.0	243.3	167.4	217.0	266.6
50	161.1	248.7	281.8	196.1	249.2	310.6
100	176.7	274.8	310.7	217.6	273.4	343.5
200	192.3	300.7	339.5	236.0	297.3	376.3



vias con duraciones largas, indica claramente el mes de octubre como el mes de mayores problemas para el deslizamiento. En este mes la tasa de infiltración llega a sus niveles mayores en las condiciones promedio analizadas en el balance, y si se suma a esta situación la alta probabilidad de temporales con cantidades elevadas de las lluvias, se llega fácilmente a tasas de infiltración superiores y una recarga rápida del acuífero.

Con el nivel freático relativamente alto (entre 2 y 3 m. por debajo de la superficie (MORA, comunicación personal) el atraso temporal del ascenso del nivel freático por efectos de las lluvias puede ser pequeño y un aumento considerable de la presión de los poros puede presentarse rápidamente. Asumiendo una conductividad (saturada) de 50 cm/día ( $5,8 * 10^{-3}$  mm./s) este atraso puede durar unos 4 días, y con conductividades mayores en menos tiempo.

Todavía no existen mediciones y conocimientos de las conductividades hidráulicas de los primeros metros, entre la superficie y el nivel freático, y tampoco están analizados ni tomados en consideración los efectos del sellamiento de la superficie por la ciudad misma, ni los cambios en el nivel o los niveles freáticos.

## RECOMENDACIONES

Muchas de las recomendaciones posibles ya están puestas en práctica, por ejemplo la instalación de

varias estaciones pluviométricas y pluviográficas para un monitoreo detallado de las lluvias en las zonas del deslizamiento y su alrededor, y otras, se refieren a la necesidad de estudios geológicos y geotécnicos. Pero poco se sabe del comportamiento de las aguas en el suelo y su transporte, de los cambios del nivel freático etc. Por lo tanto, sólo refiriéndonos a estos aspectos, proponemos las medidas siguientes:

- Instalar una red de piezómetros para conocer con mayor detalle los movimientos del agua en el suelo
- Realizar análisis de las características físicas del subsuelo.
- Efectuar mediciones topográficas detalladas para conocer la relación entre lluvias y movimientos.
- Analizar el porcentaje y los efectos del sellamiento superficial en la zona del deslizamiento, para estimar el impacto de la urbanización.
- Desarrollar y calibrar un modelo del que combina los valores de la precipitación con el movimiento del agua en el suelo y los cambios del nivel freático con el fin de predecir épocas críticas a partir de la información pluviométrica.
- Instalar un sistema de mediciones a tiempo real, conectado al modelo anteriormente mencionado.

## Agradecimientos

Al Lic. Max Campos y Lic. Manuel Solera del Instituto Meteorológico Nacional por su cooperación en el levantamiento de datos.

LITERATURA CITADA

- DUNNE, T. y L. LEOPOLD 1978. *Water in Environmental Planning*. New York, 818 p.
- GUMBEL, E.J. 1941. The return period of flood flows. *Annals Maths Statistics* 12 (2), 163-190.
- HANCOCK, J.K. y G.H. HARGREAVES 1977. Precipitación, clima y potencial para producción agrícola en Costa Rica. Utah State University, Utah. 136 p.
- HERRERA, W. 1985. *Clima de Costa Rica*. EUNED, San José. 118 p.
- INTERAGENCY ADVISORY COMMITTEE ON WATER DATA 1982. Guidelines for determining flood flow frequencies. Buletin 17b of the Hydrology Subcommittee.
- JANSSON, M.B. 1982. Land erosion by water in different climates. UNGI Rapport Nr 52, Uppsala. 151 p.
- THORNTHWAITE, C.W. y J.R. MATHER 1957. Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the water balance. *Publications in Climatology*, vol. 10,3 third printing, Centerton, New Jersey.
- VAHRSON, W.G. 1990. El potencial erosivo de la precipitación en Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 14,1. (en prensa).
- VAHRSON, W.-G y P. DERCKSEN 1990. Lluvias de altas intensidades y obras de conservación de suelos en Costa Rica, América Central. *Agronomía Costarricense* 14,2 en (prensa).
- VAHRSON W.-G. y J. FALLAS 1988. Evaluación preliminar de tres métodos para estimar períodos de retorno para lluvias máximas de 24 horas para la estación San José, Costa Rica. Instituto Meteorológico Nacional, nota de investigación No. 7. San José, Costa Rica. 40 p.
- VAHRSON, W.-G.; CARTIN, N. y O. PATTERSON 1988. Las inundaciones de 1987 en las cuencas del río Grande de Orosi y Río Pejibaye. En prensa. Presentación en el I Congreso Nacional de Desastres Naturales y Medicina de Desastres.
- WOODWARD, D.E. 1975. Discussion of "Estimation of Rainfall Erosion Index", by J.K.H. ATESHIAN (ASCE 100, 293-307, 1974). *J. Irr. and Drain., Div. Am. Soc. Civil Engers.* 101, 245-247.