

ASPECTOS MORFOCLIMATOLÓGICOS DE LA REGION BAHIA DE CULEBRA, BAHIA EL COCO, GUANACASTE, COSTA RICA

Wilhelm-Günther Vahrson
Ileana Arauz B.¹

RESUMEN

En este estudio se presentan los resultados de análisis tendientes a dilucidar los aspectos climáticos con mayor influencia en la morfodinámica, especialmente en el posible disparo de deslizamientos y avalanchas y en el problema de la erosión hídrica en la zona alrededor de la Bahía de Culebra - Bahía El Coco, Guanacaste, Costa Rica.

La metodología aplicada para este estudio puede considerarse como bien introducida, aunque algunas aplicaciones, especialmente para el análisis temporal de meses con mayor intensidad de las lluvias en esta zona presentan innovaciones.

De esta forma se han podido analizar las cantidades de las lluvias máximas

1. Proyecto Morfología Aplicada y Dinámica Exógena. Escuela de Ciencias Geográficas. Universidad Nacional. Heredia, Costa Rica.

diarias así como sus posibles distribuciones mensuales, y en menor grado por falta de información base, las posibles intensidades de las lluvias con sus distribuciones mensuales.

Las lluvias máximas diarias ocurren normalmente en las siete estaciones analizadas en los meses junio-julio y setiembre-octubre, mientras la estación Liberia (Llano Grande) muestra intensidades sumamente altas para lluvias de corta duración y altas para lluvias de duración entre 30 minutos y 120 minutos con alto impacto morfodinámico.

Por lo tanto se deriva que las condiciones climáticas en esta zona poseen una posibilidad considerada moderada-alta para servir como factor de disparo de deslizamientos y avalanchas en zonas que reúnen una susceptibilidad geológico-geomorfológica para estos fenómenos, lo mismo vale para el riesgo de erosión laminar y lineal relacionada a las intensidades de las lluvias determinadas en este estudio.

INTRODUCCION

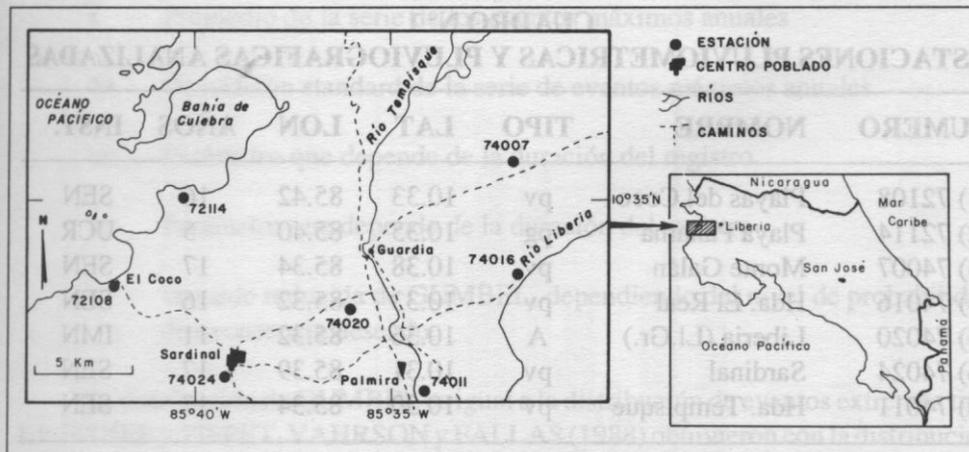
Conocimientos y análisis de eventos hidroclimatológicos extremos tienen suma importancia para diferentes aspectos de la geomorfología (por ejemplo: lechós de inundaciones, terrazas, deslizamientos y avalanchas), la conservación de suelos (análisis de erosión y erosividad de las lluvias), en la planificación de obras de infraestructura y en la prevención de desastres por avalanchas e inundaciones.

Por su localización dentro de la ZCI lluvias con altas intensidades ocurren en Costa Rica con cierta frecuencia: El valor máximo diario encontrado hasta ahora es 657 mm. en la estación Bartolo cerca de Quepos en la costa Pacífica y valores máximos mayores de 400 mm./24 horas poseen cierta frecuencia. También existen lluvias con altas intensidades con duraciones más cortas:

VAHRSON, CARTIN & PATTERSON (1988) analizan un evento con una intensidad de 120 mm. en una hora y 229 mm. en 5 horas para la estación El Humo en la cuenca del río Reventazón, RAMIREZ & CASTRO (1978) mencionan un evento con 75 mm. en 15 minutos.

Los resultados de estos eventos son muchas veces deslizamientos y avalanchas en las zonas montañosas e inundaciones en las llanuras (RICHTER 1987, VAHRSON, SABORIO & HERNANDO 1988).

En este trabajo se analizarán para la región de la Bahía de Culebra - Bahía El Coco, Guanacaste, Costa Rica los eventos máximos de las lluvias anuales como mensuales a partir de la información de 5 estaciones pluviográficas y 2 estaciones pluviométricas distribuidas en toda la región.



Mapa 1: Área de estudio y estaciones analizadas.

La magnitud de eventos máximos diarios según diferentes períodos de retorno y su distribución espacial analizó VAHRSON (1988).

Estudios parecidos ya existen p. e. en los Estados Unidos (HERSHFIELD 1961) y en Inglaterra (RODDA 1967). Para Costa Rica, analizaron RAMIREZ & CASTRO (1978) las isoyetas de los eventos máximos diarios con períodos de retorno de 2 y 100 años, para el caso de la cuenca del río Grande de Tárcoles.

BATCHELDER & COEN (1955), analizaron las lluvias de Turrialba y Bataan, GOVAERE (1974) las isoyetas de un evento extremo en la cuenca del río Grande de Térraba, GRANDOSO (1976 y 1979), los efectos directos e indirectos de huracanes sobre la precipitación de América Central y las inundaciones de 1970 en la cuenca Caribe de Costa Rica.

ALFARO (1981), analiza la frecuencia diaria y anual de las lluvias en Costa Rica, HIDALGO (1981) describe las condiciones sinópticas de lluvias intensas de un período de 10 años. VAHRSON y FALLAS (1988), evalúan la aplicabilidad de tres diferentes métodos para el análisis de eventos extremos con el registro de la estación San José.

MATERIALES Y METODOS

El área de estudio, la zona Bahía de Culebra - Bahía El Coco, se encuentra en la Vertiente Pacífica de Costa Rica (mapa No. 1). Sus coordenadas aproximadas son:

10 grados 33 minutos Lat. Norte
85 grados 42 minutos Long. Oeste

CUADRO N° 1
ESTACIONES PLUVIOMETRICAS Y PLUVIOGRAFICAS ANALIZADAS

NUMERO	NOMBRE	TIPO	LAT	LON	AÑOS	INST.
(1) 72108	Playas del Coco	pv	10.33	85.42	16	SEN
(2) 72114	Playa Panamá	pg	10.35	85.40	5	UCR
(3) 74007	Monte Galán	pv	10.38	85.34	17	SEN
(4) 74016	Hda. El Real	pv	10.33	85.32	16	SEN
(5) 74020	Liberia (Ll.Gr.)	A	10.36	85.32	11	IMN
(6) 74024	Sardinal	pv	10.31	85.39	17	SEN
(7) 74011	Hda. Tempisque	pv	10.30	85.34	17	SEN

SEN = SENARA UCR = Universidad de Costa Rica
IMN = Instituto Meteorológico Nacional

Los materiales evaluados para el análisis de las intensidades y cantidades máximas consisten en primer lugar de los registros de cinco estaciones pluviométricas y las bandas de dos estaciones pluviográficas cerca del área de interés (mapa No. 1 y cuadro No. 1).

De estas estaciones se evaluaron los registros disponibles los eventos máximos anuales y mensuales para diferentes duraciones, analizando manualmente las bandas pluviográficas respectivamente los registros pluviométricos. VAHRSON y FALLAS (1988), mostraron para los máximos diarios de la estación San José que la evaluación de registros de solamente 10 años todavía permite resultados confiables.

De los valores así determinados, se analizaron las series máximas anuales y mensuales, eliminando eventuales valores fuera de las series (INTERAGENCY ADVISORY COMMITTEE ON WATER DATA 1982).

Los eventos máximos según períodos de retorno se evaluaron a partir de la distribución de GUMBEL (1945), la cual para el análisis de series extremas tiene la forma siguiente:

$$(1) \quad X = \bar{x} + \frac{(y - u) * S_x}{sn}$$

donde:

X evento máximo según cierto nivel de probabilidad

- \bar{x} Promedio de la serie de los eventos máximos anuales
- Sx Desviación standard de la serie de eventos máximos anuales.
- un Parámetro que depende de la duración del registro.
- sn Parámetro que depende de la duración del registro
- y variable reducida de GUMBEL, dependiendo del nivel de probabilidad de excedencia deseado.

La distribución de GUMBEL es igual a la distribución de eventos extremos tipo I de FISHER y TIPPET. VAHRSON y FALLAS (1988) obtuvieron con la distribución de GUMBEL mejores resultados en el caso de la evaluación del registro de la estación San José que con la distribución Log-Pearson III que se propone generalmente para el análisis de valores hidroclimáticos extremos (INTERAGENCY ADVISORY COMMITTEE ON WATER DATA 1982).

Para el cálculo de la erosividad anual promedio se aplicó la fórmula siguiente (WOODWARD 1975):

$$(2) \quad R = 0.00245 * P^{2.17} \quad (100 * \text{foot} * \text{ton} / \text{acre})^{2.6}$$

Donde

- R erosividad promedio anual de las lluvias con la unidad:
1 unidad := 100 foot tons / acre
- P Cantidad máxima anual de lluvias con una duración de 6 2,6 horas y un período de retorno de 2 años

RESULTADOS

Aspectos generales

Lluvias mensuales y días con lluvias:

Los promedios de las lluvias mensuales de todas las estaciones muestra el gráfico No. 1. Todas las estaciones muestran el mismo patrón: una época seca bien definida desde diciembre hasta abril, los meses más secos son enero y febrero. La época lluviosa se inicia en mayo y se prolonga hasta octubre. Las cantidades de lluvias en los meses de julio y agosto muestran en todas las estaciones una reducción debido

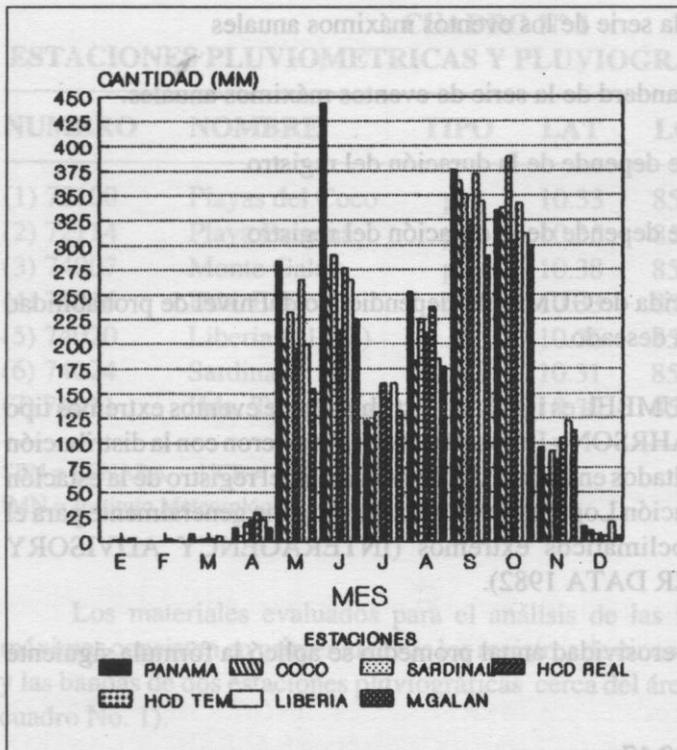


Gráfico 1: Promedios mensuales de las lluvias.

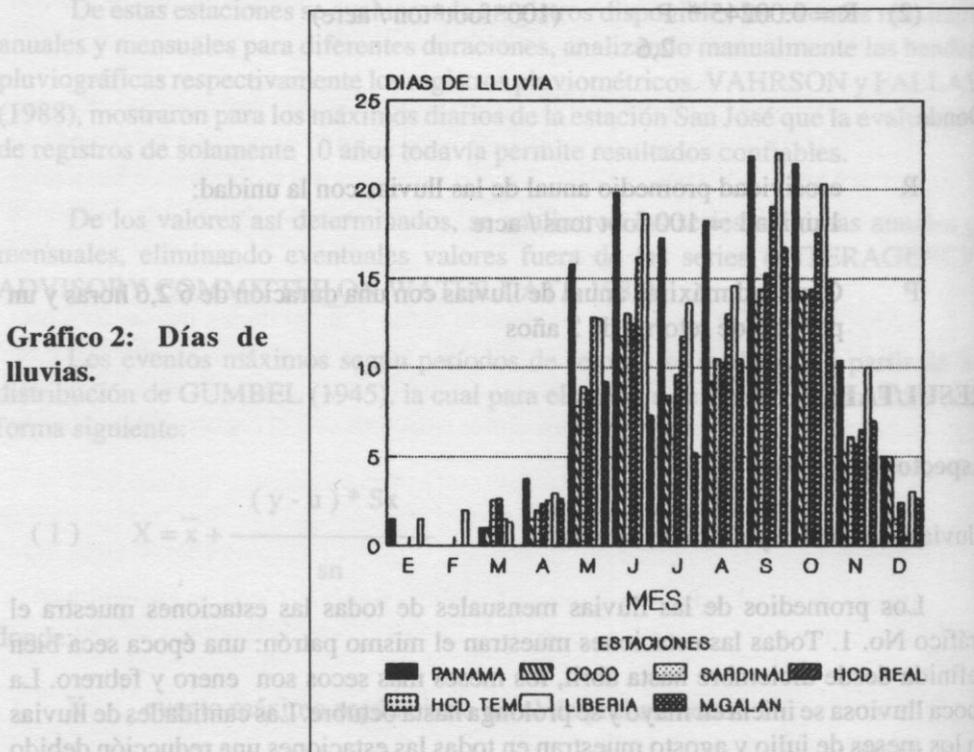


Gráfico 2: Días de lluvias.

Gráfico 3: Velocidad promedio y dirección del viento.

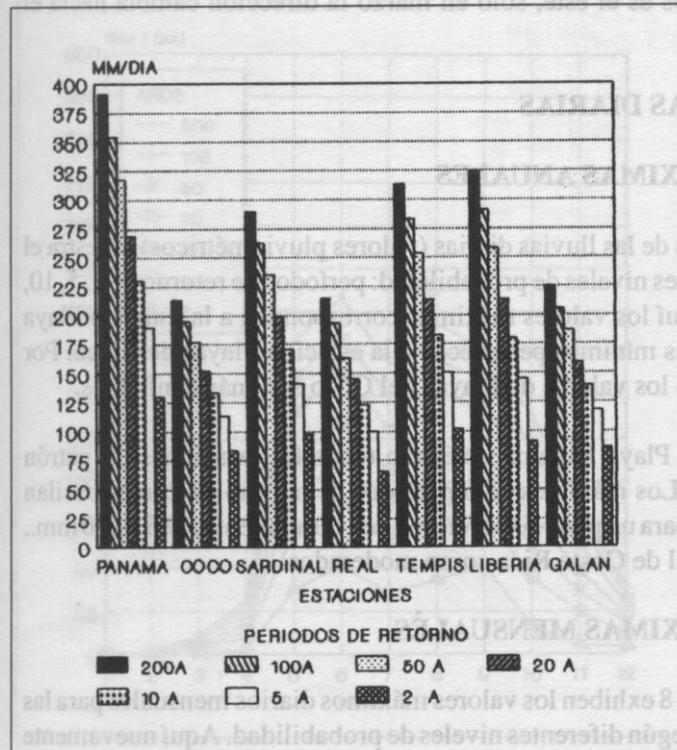
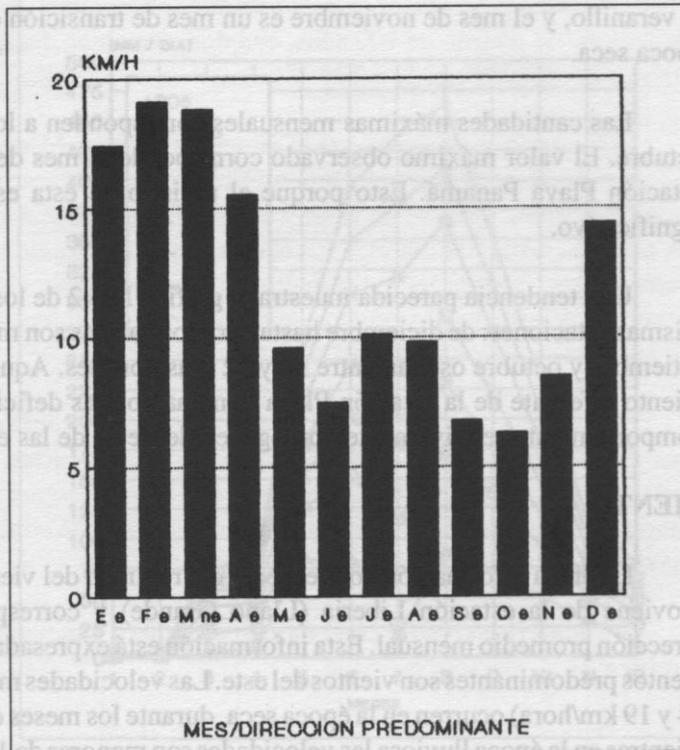


Gráfico 4: Lluvias diarias máximas anuales.

al veranillo, y el mes de noviembre es un mes de transición de la época lluviosa a la época seca.

Las cantidades máximas mensuales corresponden a los meses de setiembre y octubre. El valor máximo observado corresponde al mes de mayo (442 mm) de la estación Playa Panamá. Esto porque el registro de esta estación es corto y poco significativo.

Una tendencia parecida muestra el gráfico No. 2 de los días de lluvias para las mismas estaciones: de diciembre hasta abril los valores son menores de 5, mientras en setiembre y octubre oscilan entre 14 y 22 días por mes. Aquí de nuevo el comportamiento diferente de la estación Playa Panamá con las deficiencias ya descritas y el comportamiento relativamente homogéneo del resto de las estaciones.

VIENTO

La única información con respecto del régimen del viento en el área de estudio proviene de la estación Liberia (Llano Grande) y corresponde a la velocidad y dirección promedio mensual. Esta información está expresada en el gráfico No. 3. Los vientos predominantes son vientos del este. Las velocidades mayores (promedios entre 14 y 19 km/hora) ocurren en la época seca, durante los meses de diciembre hasta abril, mientras en la época lluviosa las velocidades son menores de 10 km/hora. La dirección predominante de los vientos es el este, sólo en marzo la dirección cambia hacia el noreste.

CANTIDADES MAXIMAS DIARIAS

LLUVIAS DIARIAS MAXIMAS ANUALES

Los máximos anuales de las lluvias diarias (valores pluviométricos) muestra el gráfico No. 4 para 7 diferentes niveles de probabilidad: períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50, 100 y 200 años. Aquí los valores máximos corresponden a la estación Playa Panamá mientras los valores mínimos pertenecen a la estación Playas del Coco. Por su serie temporal más largo los valores de Playas del Coco son más confiables.

Con la excepción de Playa Panamá muestran todas las estaciones un patrón relativamente homogéneo: Los máximos para períodos de retorno de 2 años oscilan entre 65 y 100 mm. diarios, para un período de retorno de 100 años entre 185 y 290 mm., valores considerados a nivel de Costa Rica como moderados.

LLUVIAS DIARIAS MAXIMAS MENSUALES

Los gráficos N° 5 a N° 8 exhiben los valores máximos diarios mensuales para las siete estaciones evaluadas según diferentes niveles de probabilidad. Aquí nuevamente

Gráfico 5: Precipitación máxima diaria según meses. Estación Playa Panamá.

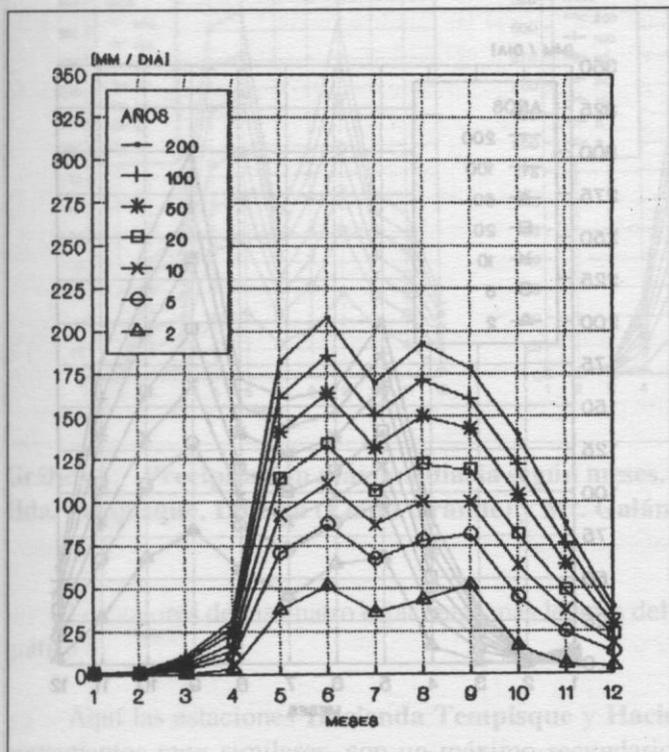
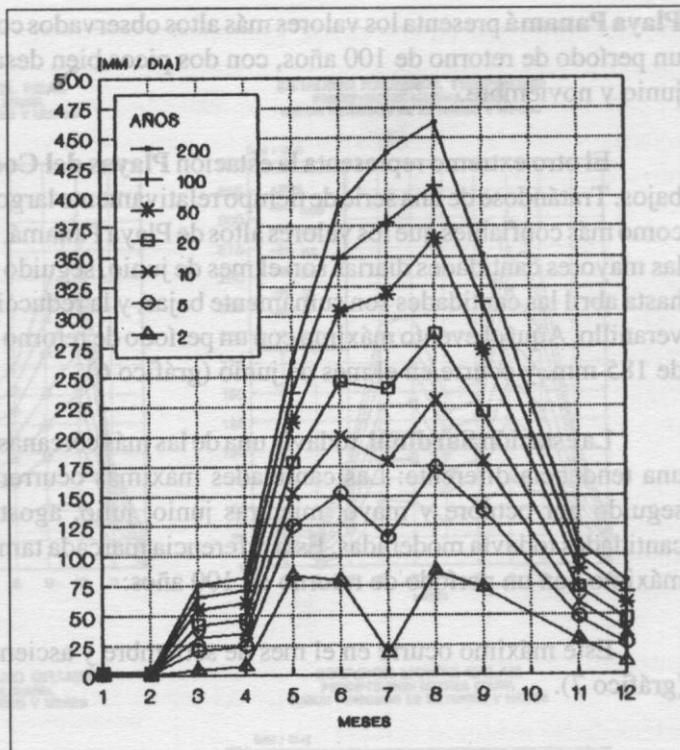


Gráfico 6: Precipitación máxima diaria según meses. Estación Playas del Coco.

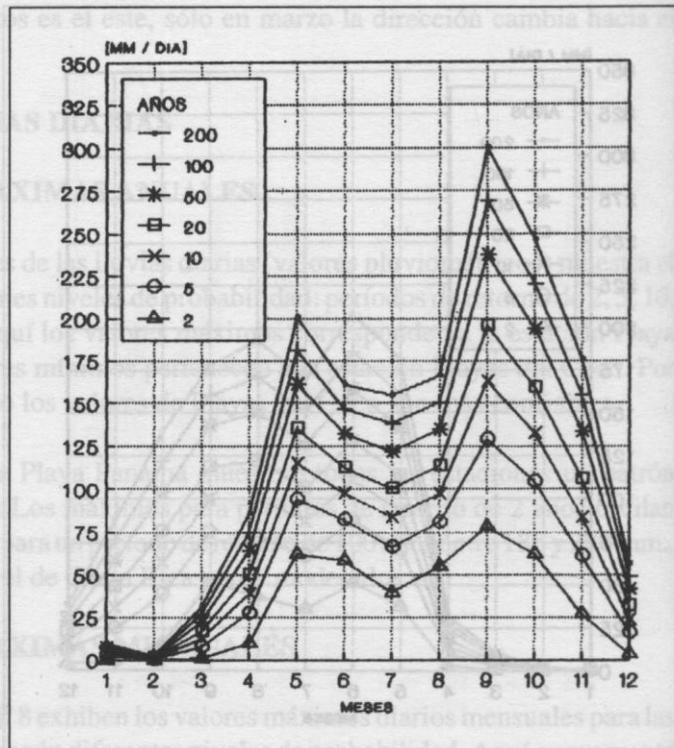
Playa Panamá presenta los valores más altos observados con más de 400mm./día para un período de retorno de 100 años, con dos picos bien desarrollados en los meses de junio y noviembre.

El otro extremo representa la estación **Playas del Coco** con valores sumamente bajos. Tratándose de una serie de tiempo relativamente largo se considera estos valores como más confiables que los valores altos de Playa Panamá. En este caso los meses con las mayores cantidades diarias son el mes de junio, seguido por agosto. Durante enero hasta abril las cantidades son sumamente bajas, y la reducción en julio corresponde al veranillo. Aquí el evento máximo con un período de retorno de 100 años tiene un valor de 185 mm. y ocurre en el mes de junio (gráfico 6).

La estación **Sardinal**, todavía una de las más cercanas al área de interés, muestra una tendencia diferente: Las cantidades máximas ocurren en el mes de setiembre, seguido por octubre y mayo, mientras junio, julio, agosto y noviembre presentan cantidades todavía moderadas. Esta diferencia marcada también se expresa en el valor máximo con un período de retorno de 100 años:

Este máximo ocurre en el mes de setiembre y asciende a un valor de 265 mm. (gráfico 7).

Gráfico 7: Precipitación máxima diaria según meses. Estación Sardinal.



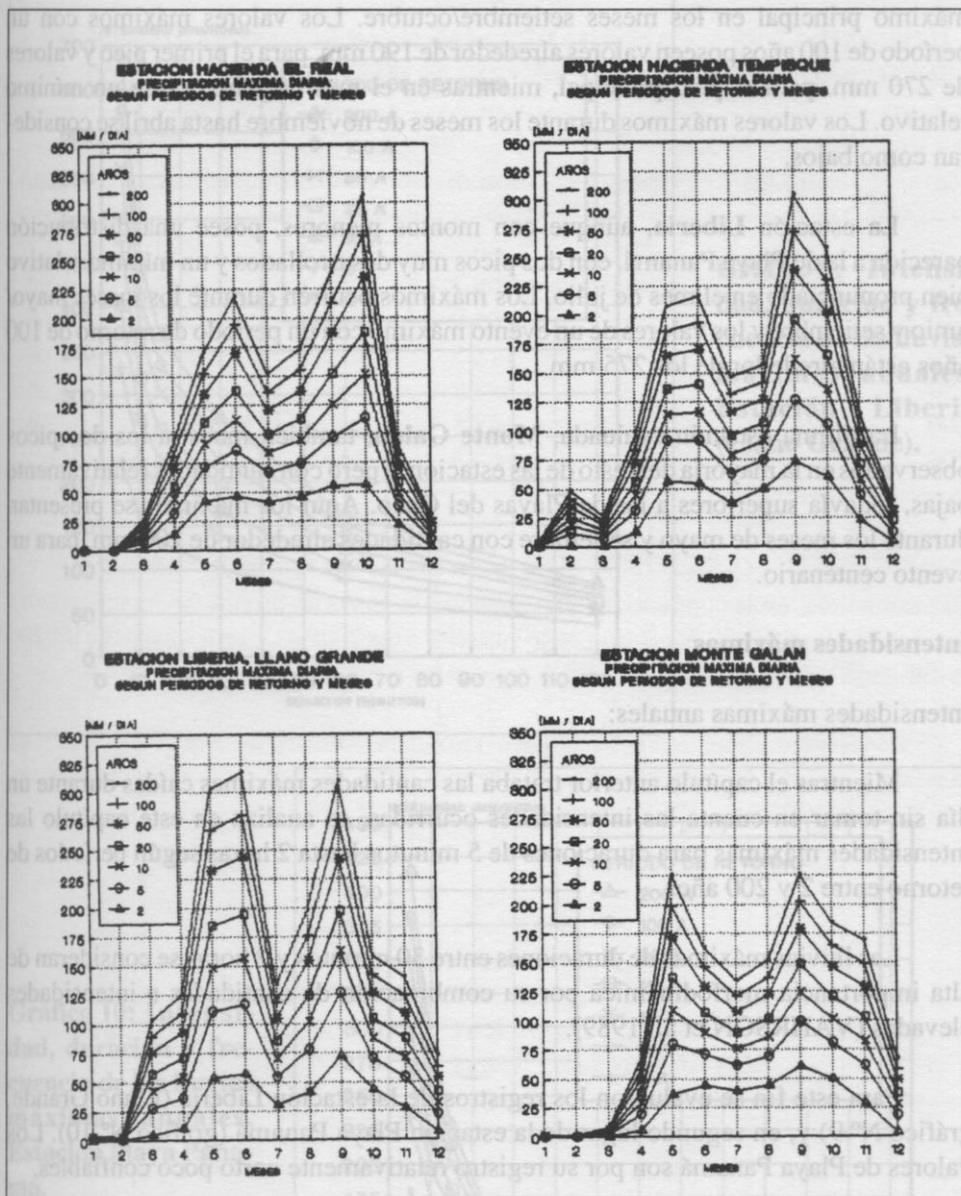


Gráfico 8: Precipitación máxima diaria según meses. Estaciones Hda. El Real, Hda. Tempisque, Liberia (Llano Grande) y Mt. Galán.

Los valores de las cuatro estaciones más lejanas del área del estudio resume el gráfico 8.

Aquí las estaciones **Hacienda Tempisque** y **Hacienda Real** muestran comportamientos muy similares, con un máximo secundario en el mes de junio y un

máximo principal en los meses setiembre/octubre. Los valores máximos con un período de 100 años poseen valores alrededor de 190 mm. para el primer pico y valores de 270 mm. para el pico principal, mientras en el mes de julio ocurre un mínimo relativo. Los valores máximos durante los meses de noviembre hasta abril se consideran como bajos.

La estación **Liberia**, aunque con montos menores, posee una distribución parecida a la de Playa Panamá, con dos picos muy desarrollados y un mínimo relativo bien pronunciado en el mes de julio. Los máximos ocurren durante los meses mayo/junio y setiembre y los valores de un evento máximo con un período de retorno de 100 años están alrededor de los 275 mm.

La última estación evaluada, **Monte Galán**, también muestra los dos picos observados en la mayoría del resto de las estaciones pero con cantidades relativamente bajas, todavía superiores a las de Playas del Coco. Aquí los máximos se presentan durante los meses de mayo y setiembre con cantidades alrededor de 200 mm. para un evento centenario.

Intensidades máximas

Intensidades máximas anuales:

Mientras el capítulo anterior trataba las cantidades máximas caídas durante un día sin tomar en cuenta las intensidades ocurridas, se analiza en este capítulo las intensidades máximas para duraciones de 5 minutos hasta 2 horas según períodos de retorno entre 2 y 200 años.

Las lluvias máximas de duraciones entre 30 minutos y 2 horas se consideran de alta importancia morfodinámica por su combinación de cantidades e intensidades elevadas (VAHRSON et al. 1989).

Para este fin se evaluaron los registros de la estación Liberia (Llano Grande, gráfico N° 9) y, en segundo lugar de la estación Playa Panamá (gráfico N° 10). Los valores de Playa Panamá son por su registro relativamente corto poco confiables.

La estación Liberia/Llano Grande muestra para duraciones cortas intensidades muy elevadas, en comparación con otras estaciones en Costa Rica. Especialmente se destacan las intensidades máximas para duraciones muy cortas entre 5 y 15 minutos.

Las intensidades correspondientes a duraciones entre 30 minutos y 120 minutos son todavía altas. (cuadro 2 y 3).

Suponiendo que una cantidad mínima de 100 mm. en combinación con una intensidad mínima de 100 mm./hora puede provocar daños severos como disparar

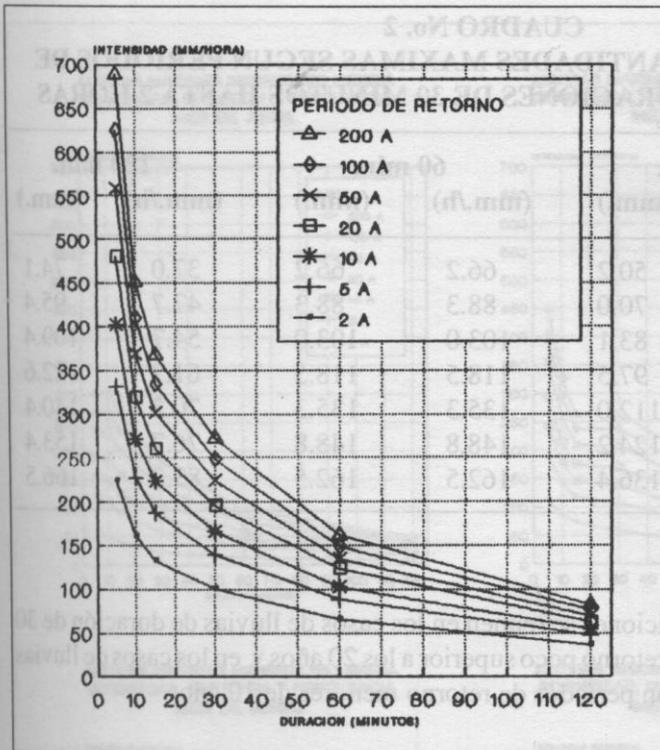
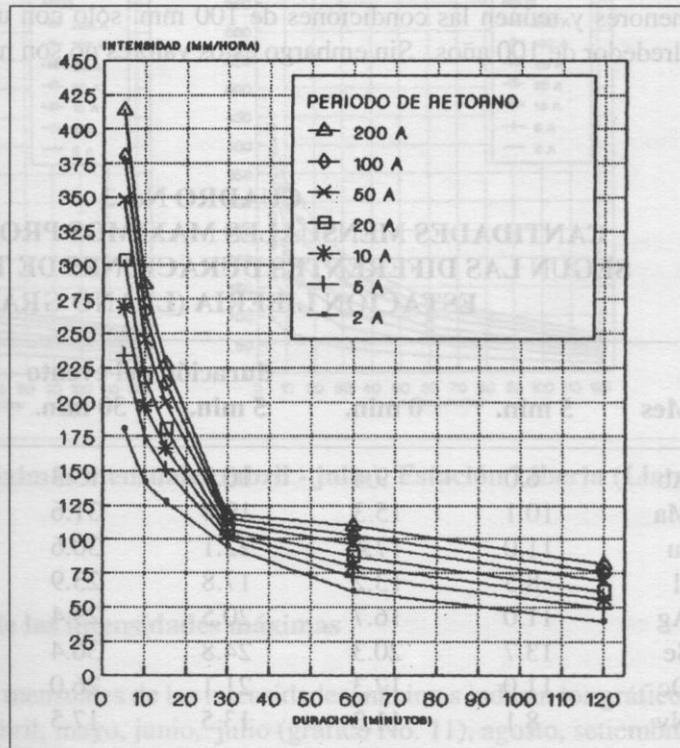


Gráfico 9: Intensidad, duración y frecuencia de las lluvias máximas anuales. Estación Liberia (Llano Grande).

Gráfico 10: Intensidad, duración y frecuencia de las lluvias máximas anuales. Estación Playa Panamá.



CUADRO No. 2
INTENSIDADES Y CANTIDADES MAXIMAS SEGUN PERIODOS DE
RETORNO PARA DURACIONES DE 30 MINUTOS HASTA 2 HORAS

Per.Ret (a)	30 min.		60 min.		120 min.	
	(mm./h)	(mm.)	(mm./h)	(mm.)	(mm./h)	(mm.)
2	100.4	50.2	66.2	66.2	37.0	74.1
5	140.0	70.0	88.3	88.3	47.7	95.4
10	166.2	83.1	103.0	103.0	54.7	109.4
20	195.0	97.5	118.5	118.5	61.3	122.6
50	224.0	112.0	135.3	135.3	70.2	140.4
100	248.4	124.2	148.8	148.8	76.7	153.4
200	272.8	136.4	162.5	162.5	83.2	166.5

deslizamientos, estas condiciones se reúnen en los casos de lluvias de duración de 30 minutos con un período de retorno poco superior a los 20 años y en los casos de lluvias de duración de una hora con períodos de retorno menores de 10 años.

En comparación, las intensidades máximas anuales de Playa Panamá son menores y reúnen las condiciones de 100 mm. sólo con un período de retorno de alrededor de 100 años. Sin embargo estos valores no son muy confiables.

CUADRO No. 3
CANTIDADES MENSUALES MAXIMOS PROMEDIOS (mm.)
SEGUN LAS DIFERENTES DURACIONES DE TODA LA SERIE.
ESTACION LIBERIA (LLANO GRANDE)

Mes	duración del evento					
	5 min.	0 min.	5 min.	30 min.	60 min.	120 min.
Ab	6.0	9.4	10.9	13.3	15.3	16.2
Ma	10.1	15.3	19.4	31.6	41.6	46.8
Ju	11.0	17.4	22.1	30.6	39.5	47.6
Jl	8.5	13.2	17.8	23.9	30.0	33.3
Ag	11.0	16.7	20.5	29.4	34.5	35.8
Se	13.7	20.3	24.8	36.4	47.9	46.2
Oc	11.0	17.3	21.1	26.0	39.7	46.9
Nv	8.1	11.3	13.5	17.5	20.8	22.0

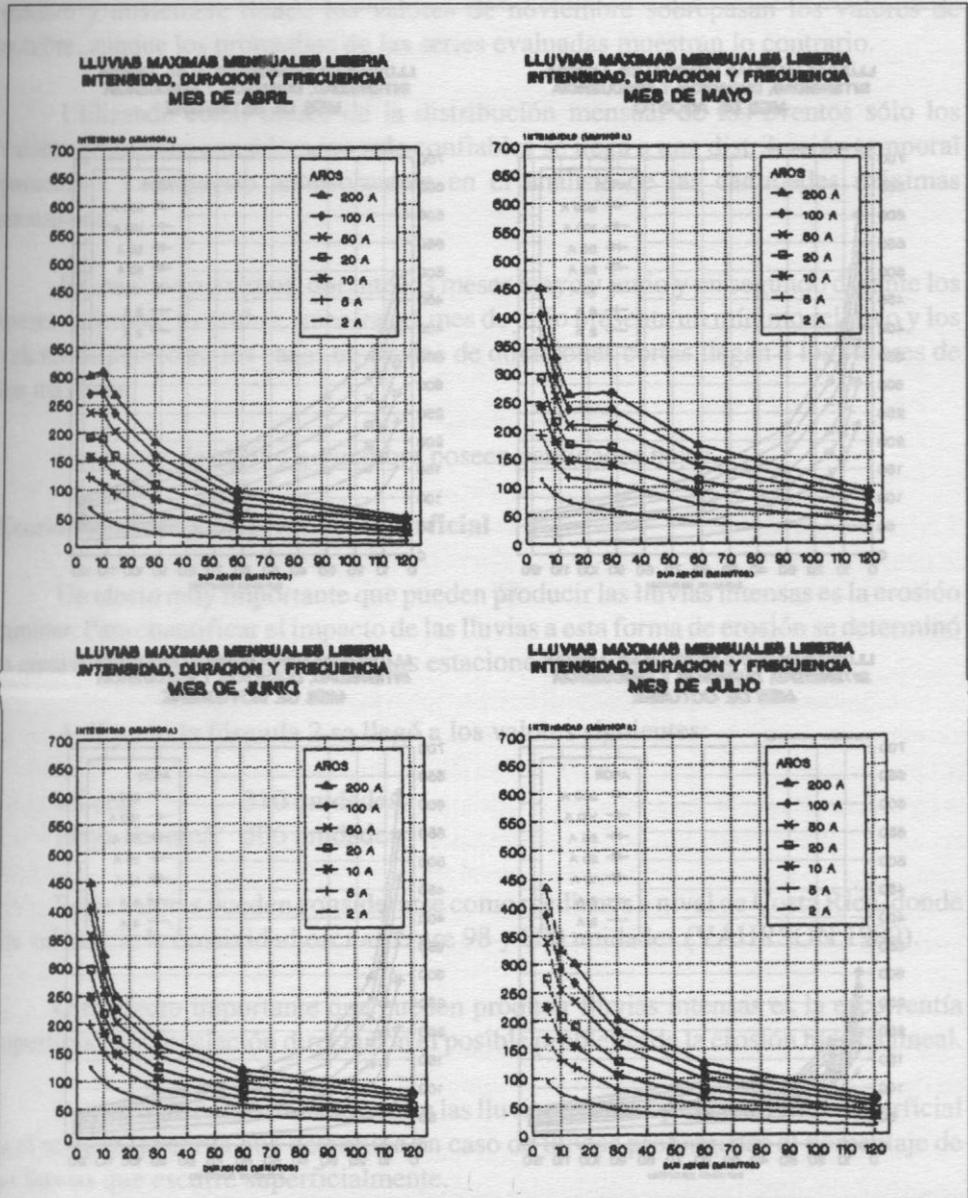


Gráfico 11: Lluvias máximas mensuales (abril - julio). Estación Liberia (Llano Grande).

Distribución mensual de las intensidades máximas

Las distribuciones mensuales de las intensidades máximas indican los gráficos 11 y 12 para los meses abril, mayo, junio, julio (gráfico No. 11), agosto, setiembre, octubre y noviembre (gráfico No.12). Por sus intensidades muy bajas no se analizaron

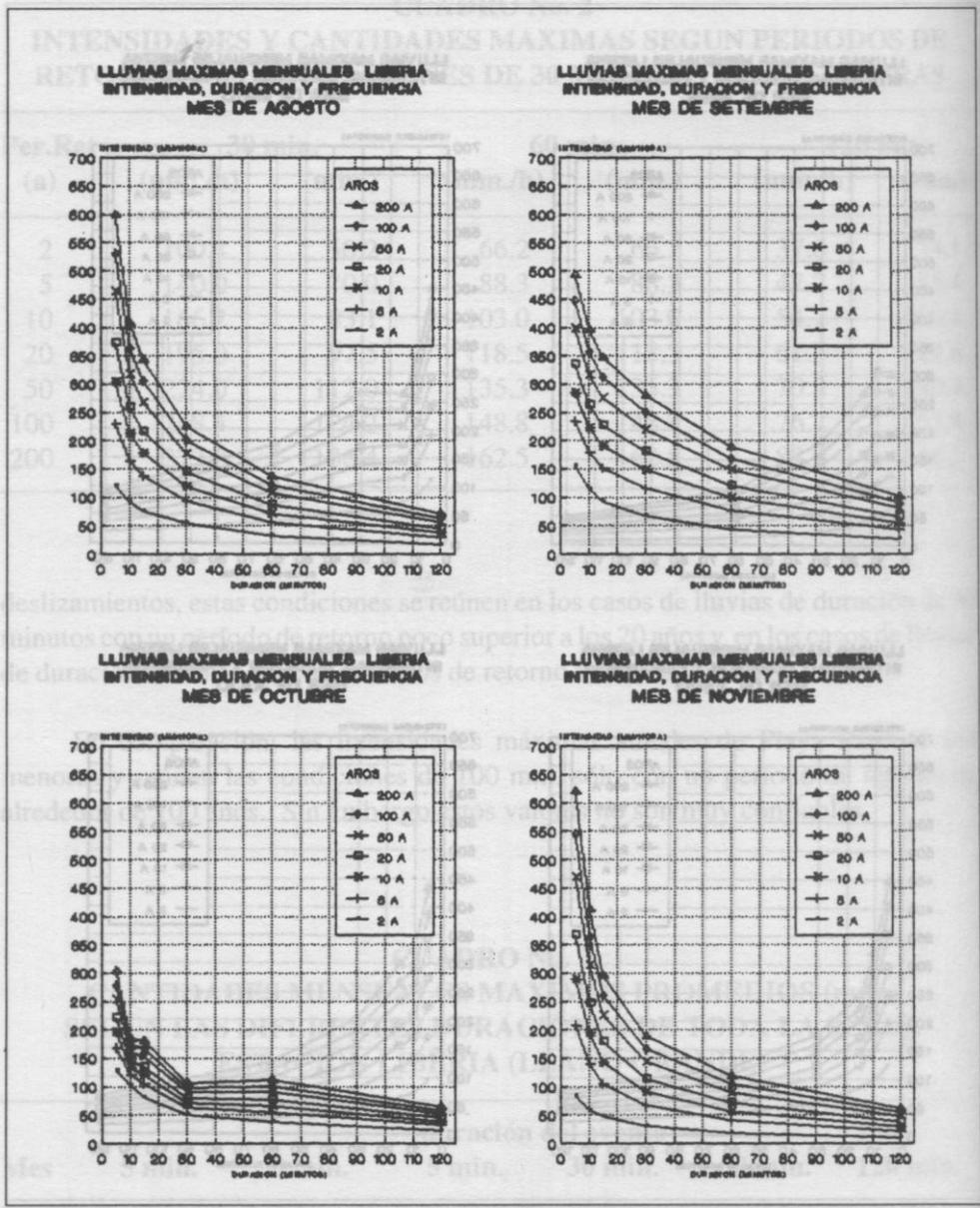


Gráfico 12: Lluvias máximas mensuales (agosto - noviembre). Estación Liberia (Llano Grande).

los meses de la época seca. En el análisis de las intensidades mensuales ocurrió el problema que a veces por las pocas observaciones mensuales las desviaciones estándares de las series llegaron a valores poco normales. Este por consecuencia causó distribuciones y curvas raras de las relaciones mensuales entre intensidad, duración y frecuencia de los eventos máximos. Un ejemplo para eso son los meses de

octubre y noviembre donde los valores de noviembre sobrepasan los valores de octubre, aunque los promedios de las series evaluadas muestran lo contrario.

Utilizando como índice de la distribución mensual de los eventos sólo los valores promedios considerados más confiables se llega a una distribución temporal parecida a lo expuesto anteriormente en el análisis de las cantidades máximas mensuales:

Existen dos máximos, durante los meses mayo y junio y un segundo durante los meses setiembre y octubre, mientras el mes de julio presenta un mínimo relativo y los valores de agosto en los casos de lluvias de duraciones cortas llegan a los valores de los máximos.

Los meses de abril y noviembre poseen cantidades bajas.

Erosión laminar y escorrentía superficial

Un efecto muy importante que pueden producir las lluvias intensas es la erosión laminar. Para cuantificar el impacto de las lluvias a esta forma de erosión se determinó la erosividad «R» de las lluvias de las estaciones Liberia y Playa Panamá.

Aplicando la fórmula 2 se llegó a los valores siguientes:

Liberia 310 unidades

Playa Panamá 506 unidades

Estos valores pueden considerarse como medianos a nivel de Costa Rica, donde los valores de la erosividad oscilan entre 98 y 880 unidades (VAHRSON 1989).

Otro efecto importante que pueden producir lluvias intensas es la escorrentía superficial por su relación directa con el posible problema de la erosión hídrica lineal.

Una medida para la relación entre las lluvias intensas y la escorrentía superficial es el número de curva que determina en caso de lluvias prolongadas el porcentaje de las lluvias que escurre superficialmente.

De acuerdo con el uso del suelo, los suelos y las pendientes en esta zona se determinó el coeficiente de escorrentía para lluvias de altas intensidades a partir de la siguiente información:

- uso del suelo: charral y bosque secundario, condición hidrológica: buena.
- suelo: lithic ustropept, (suelo poco profundo (alrededor de 30 cm.), textura franco arenosa, estructura bloques angulares, porosidad mediana-alta). infiltrabilidad moderada.

— pendiente: 10-20% en las zonas planas/onduladas correspondientes al plateau, más de 80% en las zonas de pendientes fuertes.

Para el número de curva se estima (DUNNE & LEOPOLD 1978) los siguientes valores:

Condición

N = 60-69 30-48 mm. de precipitación durante los 5 días anteriores

N = 40-50 menos de 30 mm. de precipitación durante los 5 días anteriores

N = 78-84 más de 48 mm. de precipitación durante los 5 días anteriores

Los últimos valores (N = 78-84) son aplicables para la mayoría de los casos de lluvias intensas durante la época lluviosa y presentan valores relativamente altos y por lo tanto, según las áreas de captación, cierto riesgo de una erosión hídrica lineal.

RESTRICCIONES

Como restricción principal se debe mencionar la escasa información pluviográfica existente en el área de estudio y la distancia relativamente alta entre la estación Liberia (Llano Grande y el área de interés). Por su situación en las llanuras de ignimbritas de la formación Bagaces, esta estación puede tener un microclima bastante diferente que las áreas cerca al mar. Sin embargo presentan los valores pluviométricos (diarios y mensuales) de las estaciones más cercanas al área de estudio (Playas del Coco, Sardinal y Playa Panamá) tendencias semejantes a las tendencias de la estación Liberia y justifican así el uso de la información de las intensidades máximas de Liberia.

La aplicación directa de la información de las intensidades de lluvias carece todavía de una base cuantitativa, por lo tanto no se puede considerar las conclusiones en cuanto al disparo de deslizamientos como definitivas.

Los cálculos del coeficiente de escorrentía superficial y de la erosividad pluvial están basados en fórmulas no calibradas para climas tropicales y por lo tanto presentan sólo una estimación aproximada.

CONCLUSIONES

En el transcurso de esta investigación, ha podido observarse, analizando varios indicadores de tipo hidrológico-climatológico relacionados a procesos morfodinámicos cuál es la posibilidad de un disparo de deslizamientos y avalanchas por factores climáticos en la región del Golfo de Papagayo, cuáles son los meses más propensos para este evento y cuál es la relación entre las lluvias y el problema de la erosión.

Se llegó a la conclusión que las intensidades de las lluvias analizadas son suficientemente altas como para convertirse en el factor de disparo de deslizamientos y avalanchas en zonas propensas a estos fenómenos por sus características geológico-geomorfológicas.

Los meses más propensos para estos eventos son en menor grado mayo y junio y en mayor grado setiembre y octubre.

En cuanto al problema de erosión se puede decir que por las características de la precipitación pluvial y por los coeficientes de escorrentía relativamente altos el riesgo de una erosión laminar y lineal acelerada es inminente, si se interviene en la cobertura natural del suelo sin las medidas apropiadas de conservación de suelos.

BIBLIOGRAFIA

- Alfaro, M. 1981: **ALGUNOS ASPECTOS DE LA PRECIPITACION EN COSTA RICA**. Tesis de grado, Universidad de Costa Rica.
- Batchelder, C.H. & Coen, E. 1955: **TEN YEARS OF RAINFALL AT TURRIALBA AND BATAAN, COSTA RICA**. Abaca research report 35, Turrialba, Costa Rica.
- Dunne, T. & Leopold, L. B. 1978: **WATER IN ENVIRONMENTAL PLANNING**. London, Methuen.
- Govaere, J. L. 1984: **MAPA DE ISOYETAS DE LA TORMENTA DEL 28-29 DE AGOSTO DE 1973, CUENCA DEL RIO GRANDE DE TERRABA**. Revista Geográfica de América Central 1, pp. 21-25.
- Grandoso, H. 1976: **INTENSE PRECIPITATIONS AND FLOODS IN TROPICAL OF LATIN AMERICA**. Proceedings of a training seminar in Salvador. WMO, Genf.
- Grandoso, H. 1980: **ESTUDIO METEOROLOGICO DE LAS INUNDACIONES DE DICIEMBRE 1970 EN COSTA RICA**. Instituto Meteorológico Nacional, Nota de investigación No 1. Costa Rica, San José.
- Gumbel, E. J. 1945: **FLOODS ESTIMATED BY THE PROBABILITY METHOD**. Engineering news record 134. pp. 833-837.
- Hershfield, 1961: **RAINFALL FREQUENCY ATLAS OF THE UNITED STATES**. U.S. Weather Bureau, Technical Paper 40.
- Hidalgo, H. 1980: **HEAVY RAINFALL IN COSTA RICA**. Thesis. Birmingham University, Birmingham.
- ICE 1988: **INFORME SOBRE LAS AVENIDAS DEL 2 DE JULIO 1987 EN LOS RIOS NARANJO, HUMO Y OROSI**. San José, 10 pp.
- Interagency Advisory Committee on Water Data 1982: **GUIDELINES FOR DETERMINING FLOOD FLOW FREQUENCIES. BULLETIN 17B OF THE HYDROLOGY SUBCOMMITTEE**.
- Mora, S. 1988: **LOS DESLIZAMIENTOS DEL 2 DE JULIO 1987 EN EL CERRO DUAN (CACHI, EL HUMO Y PEJIBAYE). SUS CAUSAS Y CONSECUENCIAS**. 4. Seminario de Geotecnia. en prensa.
- Mora, S. 1989: **ANALISIS DE LA SUSCEPTIBILIDAD GEOLOGICO GEOMORFOLOGICO A LA EROSION DE LA CUENCA DEL RIO REVENTAZON, COSTA RICA**. Informe a la Organización para la Alimentación y Agricultura de la ONU. San José, Costa Rica.
- Ramírez, P. & Castro, V. 1978: **EVALUACION CUANTITATIVA DEL RIESGO DE DESASTRE POR CICLONES TROPICALES EN LA CUENCA DEL RIO GRANDE DE TARCOLES, COSTA RICA, AMERICA CENTRAL**. Mimeografía.
- Richter, M. 1987: **DIE STARKREGEN UND MASSENUMLAGERUNGEN DES JULI-UNWETTERS IM TESSIN UND VELTLIN**. Erdkunde 41, 4, pp. 261-274.
- Riehl, H. 1954: **TROPICAL METEOROLOGY**. New York.

Rodda, J.C. 1967: **A COUNTRY WIDE STUDY OF INTENSE RAINFALL IN THE UNITED KINGDOM.** Journal of Hydrology 5, pp. 58-69.

Vahrson, W.-G. 1988: **MAXIMALE TAGESNIEDERSCHLÄGE IN COSTA RICA.** en imprenta.

Vahrson, W.-G. 1989: **ANALISIS PRELIMINAR DE LA EROSIVIDAD PLUVIAL EN COSTA RICA.** Informe a la Organización para la Nutrición y Agricultura (FAO) de la ONU, 18 pp., 2 mapas. Heredia.

Vahrson, W.-G., Cartín, N. & Patterson, O. 1987: **LAS INUNDACIONES DEL 2 DE JULIO 1987, EL CASO DE LA CUENCA DEL RIO HUMITO.** en prensa.

Vahrson, W.-G. & Fallas, J. 1988: **EVALUACION PRELIMINAR DE TRES METODOS PARA ESTIMAR PERIODOS DE RETORNO PARA LLUVIAS MAXIMAS DE 24 HORAS PARA LA ESTACION SAN JOSE, COSTA RICA.** Instituto Meteorológico Nacional, Nota de investigación No 7. San José, Costa Rica.

Vahrson, W.-G., Saborío, F. & Hernando, L. 1988: **Avalanchas en la Cordillera Central, el caso del río Ciruelas.** en prensa.

Woodward, D. E. 1975: **DISCUSSION OF ESTIMATION OF RAINFALL EROSION INDEX, BY J.K.H. ATESHIAN (ASCE 100, pp. 293-307, 1974). J. IRR. AND DRAIN., DIV. AM. SOC. CIVIL ENGRS.** 101, pp. 245-247.

Marilyn Romero

RESUMEN

La subcuenca del río Quebradas es importante desde el punto de vista hídrico ya que constituye la fuente principal de abastecimiento de agua potable, tanto a la población local, como a la ciudad de San Isidro de El General. De ahí que el conocimiento de la cantidad y distribución espacial y temporal de la recarga de aguas subterráneas sea muy valioso. Para ello se aplicó el balance hídrico de acuerdo con Thorneley y Mather (1957) (modificado), según uso del suelo, unidad geomorfológica y zona climática.

Como resultado la cantidad de agua para la recarga está determinada principalmente por las condiciones climáticas y en segundo término por el uso del suelo. Esto significa que el período de aporte a la recarga bajo bosque es menor que el que se presenta en el pasto. La recarga anual total en la subcuenca es de 0,050 km³.

Un aspecto importante es la calidad del agua potable, en este caso relacionada