

ANEXOS

registro	Coordenadas		tipo de movimiento	tipo de roca	uso suelo	gulo de tal	largo metros	ancho metros	Agua mm/s	causa	direccion	fecha	vel	elev	
	numero	esta													norte
4	1	196550	1706409	caida de rocas	dolomita	bosque	46	110	30	humedo	estructuras	30	30/05/00	10 m/se	1115
6	2	196668	1706615	caida de rocas	dolomita	bosque	45.58	70	16	seco	estructuras	195	30/05/00	10 m/se	1065
8	3	196516	1706399	caida de rocas	dolomita	bosque	64.15	100	7.5	humedo	estructuras	35	30/05/00	10 m/se	1115
14	4	196327	1706477	caida de rocas	dolomita	nat	49.13	119	13	seco	estructuras	50	30/05/00	10 m/se	1135
15	5	196424	1706605	caida de rocas	dolomita	nat	49	40	19	seco	estructuras	185	30/05/00	10 m/se	1060
16	6	196293	1706739	caida de rocas	dolomita	nat	64.15	110	25	seco	estructuras	160	30/05/00	10 m/se	1180
17	7	196228	1706733	caida de rocas	dolomita	nat	43	44	17	seco	estructuras	235	30/05/00	10 m/se	1100
18	8	196081	1706650	caida de rocas	dolomita	nat	58.21	70	40	seco	estructuras	75	01/11/98	10 m/se	1165
19	9	196061	1706566	caida de rocas	dolomita	nat	48.6	80	15	seco	estructuras	85	01/11/98	10 m/se	1185
21	10	196123	1706405	caida de rocas	dolomita	nat	61	8	8	seco	estructuras	325	30/05/00	10 m/se	1115
24	11	196141	1706454	caida de rocas	dolomita	siembra	45	24	21.1	seco	estructuras	111	30/05/00	10 m/se	1115
25	12	196274	1706482	caida de rocas	dolomita	nat	56	6	10	humedo	estructuras	345	30/05/00	10 m/se	1120
26	13	196355	1706325	caida de rocas	dolomita	nat	54	37	39.5	seco	estructuras	90	30/05/00	10 m/se	1150
28	14	196581	1706271	caida de rocas	dolomita	nat	41	60	22	seco	estructuras	150	30/05/00	10 m/se	1080
35	15	196714	1706786	caida de rocas	dolomita	nat	45	28	7	seco	estructuras	149	30/05/00	10 m/se	1130
36	16	196735	1706844	caida de rocas	dolomita	nat	53	25	5.5	seco	estructuras	41	01/11/98	10 m/se	1100
40	17	197095	1706654	caida de rocas	dolomita	nat	64	10	3	humedo	estructuras	74	30/05/00	10 m/se	1070
45	18	197165	1706810	caida de rocas	dolomita	cons	48.6	40	41	seco	a.h	194	01/11/98	10 m/se	1090
48	19	196706	1705959	caida de rocas	dolomita	nat	64	10	18.1	humedo	estructuras	41	01/05/02	10 m/se	1045
57	20	196717	1705938	caida de rocas	dolomita	siembra	48.6	20	30	humedo	estructuras	292	May-01	10 m/se	1045
65	21	197416	1705474	traslacional	suelo	siembra	49.4	26	7.6	0.02	intemperismo	325	Aug-02	1m/mir	1080
69	22	197703	1705338	traslacional	suelo	nat	58	41	23.7	seco	estructuras	46	May-97	1m/mir	1040
70	23	197292	1705494	traslacional	suelo	siembra	47.7	13.5	12.7	humedo	intemperismo	51	30/05/00	1m/mir	1075
82	24	197518	1705891	caida de rocas	dolomita	nat	53	10	15	seco	intemperismo	224	May-95	10 m/se	1065
93	25	198278	1705900	caida de rocas	dolomita	nat	61	8	8	seco	estructuras	85		10 m/se	1010
95	26	197999	1705997	caida de rocas	dolomita	nat	58	20	35	seco	estructuras	7		10 m/se	1040
27	197496	1706643	caida de rocas	dolomita	cons	nat	41	30	10	seco	a.h	135		10 m/se	1080
112	28	197554	1706578	caida de rocas	dolomita	nat	53	10	22.5	humedo	estructuras	241		10 m/se	1070
94	29	198153	1705385	caida de rocas	dolomita	nat	36.86	50	40	seco	estructuras	10		10 m/se	1075
30	196318	1706380	caida de rocas	dolomita	nat	nat	58.21	20	10	seco	estructuras	55		10 m/se	1170
11	196328	1706184	caida de rocas	dolomita	nat	nat	59	15	8	seco	estructuras	85		10 m/se	1155
32	197442	1705575	traslacional	suelo	cons	cons	50	8	6	seco	intemperismo	345		1m/mir	1020
220	33	197278	1705519	traslacional	suelo	nat	55	5	5.4	humedo	intemperismo	50	30/05/00	1m/mir	1080
230	34	197614	1705259	traslacional	suelo	nat	59	6.6	3.5	humedo	intemperismo	57	May-01	1m/mir	1070
239	35	197518	1705488	traslacional	suelo	nat	35	7	16	fluya	intemperismo	45		1m/mir	1050
240	36	197556	1705462	traslacional	suelo	nat	46	8	17	fluya	intemperismo	55	30/05/00	1m/mir	1045
241	37	197487	1705476	traslacional	suelo	nat	39	7.5	10	humedo	intemperismo	0	30/05/00	1m/mir	1070
38	197226	1705649	traslacional	caliza	nat	nat	43	16.1	9.4	humedo	intemperismo	55		1m/mir	1030
39	197040	1705888	traslacional	caliza	nat	nat	64.16	10	15	humedo	intemperismo	295		1m/mir	1070
40	196487	1705536	caida de rocas	dolomita	nat	nat	60.46	8	5	seco	estructuras	18	30/05/00	10 m/se	1030

Evaluación de datos de lluvia para el establecimiento de un sistema de alerta por deslizamientos

Silvia Cortez¹, Luis Laj¹, Jaime Requena¹, Rudy Machorro²

¹Centro Universitario del Norte Departamento de Geología. Cobán, Alta Verapaz. Guatemala ²CORDILLERA S.A. 12 Avenida B 1-58 Zona 7. Monte Real 1. Guatemala. bird@intelnet.net.gt

RESUMEN

Se ha realizado un intento por modelar el desencadenamiento de deslizamientos en base a datos de lluvia para la Cabecera Municipal de Senahú, Alta Verapaz. Para ello se han utilizados modelos estocásticos que permiten establecer la tasa de retorno para deslizamientos y para eventos de lluvia. Se modelizaron eventos extremos de lluvia incluyendo el Huracán Mitch y la tormenta relacionada con los deslizamientos de mayo 2000 que causaron muchos daños. Los resultados de la primera aproximación muestran que la acumulación de lluvia mayor de 0.4m en un periodo de varios días puede ser un factor activante de deslizamientos. Esta hipótesis se apoya en el procesamiento e interpretación de datos de lluvia para el periodo 1955-2001. Debido a que los datos de lluvia no corresponden exactamente al sitio de los deslizamientos la hipótesis puede modificarse con datos que se generen a partir de la estación pluviográfica que acaba de instalarse en Senahú.

1.0. Introducción

Los deslizamientos representan una amenaza seria para los pobladores de diferentes áreas de Guatemala. Esto se debe a la combinación de factores geológicos e hidrometeorológicos y al inapropiado uso del suelo. Son varias las localidades del país donde se han registrado deslizamientos que han ocasionado la pérdida de vidas humanas y grandes daños materiales. Puede citarse los deslizamientos ocurridos en Senahú, Santa Cruz del Quiché y recientemente San Lucas Tolimán. En los casos mencionados la lluvia ha sido el factor desencadenante de los deslizamientos por lo que es necesario evaluar los datos de precipitación pluvial y de este modo tratar de identificar si existe un patrón que permita pronosticar este tipo de fenómeno. El 31 de mayo del 2000 se registraron varios deslizamientos en la Cabecera Municipal de Senahú. El sector más afectado fue el Barrio El Calvario localizado al pie de un cerro y en el fondo de una quebrada. En este sector 13 residentes perdieron la vida y 21 viviendas fueron destruidas. Los deslizamientos parecen haberse activado durante la presencia de una tormenta.

2.0. Localización y acceso

El Municipio de Senahú se localiza en la parte oriental del Departamento de Alta Verapaz y cubre un área aproximada de 336 km². Para llegar a la Cabecera Municipal, partiendo de la Capital, puede tomarse la Carretera CA-9 hasta llegar a El Rancho. De este poblado se toma la Carretera 17 que conduce a Cobán hasta alcanzar el poblado de San Julián. La carretera entre la Capital y San Julián se encuentra asfaltada. De San Julián se gira al oriente, a lo largo del Valle del Río Polochic, hasta llegar a Telemán de donde se gira al noroeste hasta llegar a Senahú. La carretera de San Julián a Senahú es de terracería y permanece en buen estado la mayor parte del año. El recorrido total desde la Capital a Senahú es de aproximadamente 245 km.

3.0. Modelos de probabilidad

Se han propuesto diferentes modelos de probabilidad para estimar el número de deslizamientos para un área específica durante un tiempo determinado (Crovelli, 2000). Es apropiado comparar primero algunas ideas filosóficas importantes acerca de procesos naturales y modelos de probabilidad (Cuadro 1).

Puede considerarse la ocurrencia de deslizamientos durante un tiempo determinado en un área particular. Esta situación puede representarse como

$$N(t) = \text{número de deslizamientos que ocurren en tiempo } t \text{ en un área}$$

Se trata de derivar una fórmula que permita estimar la probabilidad de que ocurra uno o más deslizamientos en un tiempo determinado t , es decir,

$$P \{N(t) \geq 1\}$$

ANEXO 3

Cuadro 1 Ideas filosóficas importantes acerca de procesos naturales y modelos de probabilidad

<u>Procesos Naturales</u>	<u>Modelos de Probabilidad</u>
<ul style="list-style-type: none"> * Todos los eventos en el universo son determinísticos: cada evento tiene una causa. * La naturaleza es determinística en la escala de amenazas geológicas y atmosféricas (deslizamientos, terremotos, inundaciones, huracanes, y volcanes). Cada amenaza tiene una causa. * El tiempo que transcurre entre eventos amenazantes es irregular. * No es posible predecir exactamente cuando ocurrirá un evento amenazante debido al conocimiento limitado que tenemos de la naturaleza. 	<p>Probabilidad es una medida numérica de nuestra incertidumbre con la naturaleza</p> <p>Un modelo de probabilidad es un modelo matemático que toma en cuenta nuestra incertidumbre.</p> <p>Los modelos de probabilidad se utilizan para describir y predecir los procesos físicos en la naturaleza.</p> <p>Los modelos de probabilidad consideran que las amenazas son aleatorias. La aleatoriedad es una propiedad de los modelos no de la naturaleza. Las amenazas no se presentan de manera aleatoria en la naturaleza.</p> <p>Siempre estaremos inseguros en relación con las amenazas naturales debido a lo limitado de nuestro conocimiento</p>

Las amenazas naturales son procesos determinísticos. Sin embargo, debido al limitado conocimiento que tiene el ser humano sobre las amenazas naturales, con frecuencia se utilizan modelos de probabilidad que toman en cuenta nuestra incertidumbre

En este caso se examinarán únicamente dos modelos de probabilidad (Cuadro 2). El modelo de Poisson que utiliza una escala de tiempo continua y el modelo Binomial basado en una escala de tiempo discreta.

Cuadro 2. Modelos de probabilidad para modelar deslizamientos

<u>MODELO DE POISSON</u>	<u>MODELO BINOMIAL</u>
<ul style="list-style-type: none"> * Es un modelo que considera la ocurrencia de deslizamientos en tiempo continuo. Los valores de la variable pueden ser <u>infinitos</u>; por ejemplo, la cantidad de lluvia recibida durante un año. * Un evento es independiente del otro. El número de deslizamientos que ocurren en intervalos de tiempo separados son independientes. * La probabilidad de que ocurran n deslizamientos en tiempo continuo t se expresa como $P\{N(t) = n\} = e^{-\lambda t} \frac{\lambda^n}{n!} \quad n = 0,1,2,3,\dots$ <p>λ = ritmo de ocurrencia de deslizamientos</p> <p>El intervalo de recurrencia (tasa de retorno), μ, o intervalo de tiempo entre deslizamientos</p> $\mu = \frac{1}{\lambda}$ <p>La probabilidad de que ocurra uno o más deslizamientos durante un tiempo t se calcula con la ecuación</p> $P\{N(t) \geq 1\} = 1 - P\{N(t) = 0\} = 1 - e^{-\lambda t} = 1 - e^{-t/\mu}$	<ul style="list-style-type: none"> * Es un modelo que considera la ocurrencia de deslizamientos en tiempo discreto. En este caso el tiempo se divide en una serie de incrementos discretos de la misma longitud y se considera que dentro de cada incremento puede o no ocurrir un deslizamiento. Los valores de la variable se consideran <u>finitos</u>; por ejemplo el número de días con lluvia de un lugar particular durante un año. * La probabilidad de que ocurran n deslizamientos en tiempo discreto t se expresa como $P\{N(t) = n\} = C_n^t p^n (1-p)^{t-n} \quad n = 0,1,2,\dots$ <p>donde $C_n^t = \frac{t!}{n!(t-n)!}$</p> <p>$p$ = probabilidad de un deslizamiento en tiempo t La tasa de retorno, μ, se calcula con</p> $\mu = \frac{1}{p}$ <p>La probabilidad de que ocurra uno o más deslizamientos durante un tiempo t se calcula con la ecuación</p> $P\{N(t) \geq 1\} = 1 - P\{N(t) = 0\} = 1 - (1-p)^t = 1 - (1 - 1/\mu)^2$

El modelo de Poisson también se ha utilizado para modelar la ocurrencia de terremotos. El modelo Binomial ha sido muy útil para modelar inundaciones y flujo de detritos. Ambos modelos consideran que la ocurrencia de deslizamientos es aleatoria. Debido al incompleto conocimiento que se tiene sobre los procesos físicos que controlan la ocurrencia de deslizamientos se considera que el Modelo de Poisson es una buena primera aproximación para modelar la amenaza.

3.1. Ejemplo Práctico: El registro de deslizamientos para un lugar determinado durante los últimos 100 años (t) mostró que ocurrieron 5 deslizamientos (n). Utilizar el Modelo de Poisson y el Modelo Binomial para estimar la probabilidad de que ocurra otro deslizamiento en un tiempo t. Los cálculos se muestran en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Modelizado de la probabilidad que ocurran deslizamientos con el Método de Poisson y el Método Binomial

Cuadro 3. Modelizado de la probabilidad que ocurran deslizamientos con el Método de Poisson y el Método Binomial

<u>MODELO DE POISSON</u>	<u>MODELO BINOMIAL</u>
λ puede aproximarse de la siguiente manera	p puede aproximarse de la siguiente manera
$\lambda = \frac{n}{t} = \frac{5}{100} = 0.05 (5\%)$	$p = \frac{n}{t} = \frac{5}{100} = 0.05 (5\%)$
Por lo tanto se espera que ocurran deslizamientos a un ritmo de 0.05 por año	La probabilidad de que ocurra un deslizamiento en cualquier incremento de un año es 5%.
La tasa de retorno sería $\mu = 1/\lambda = 1/0.05 = 20$ años	La tasa de retorno sería $\mu = 1/p = 1/0.05 = 20$ años
Tomando en cuenta ya sea μ o λ puede estimarse la probabilidad de que ocurra uno o más deslizamientos en un tiempo futuro t	Tomando en cuenta ya sea μ o p puede estimarse la probabilidad de que ocurra uno o más deslizamientos en un tiempo futuro t
$P\{N(t) \geq 1\} = 1 - P\{N(t) = 0\} = 1 - e^{-\lambda t} = 1 - e^{-\mu t}$	$P\{N(t) \geq 1\} = 1 - P\{N(t) = 0\} = 1 - (1-p)^t = 1 - (1-1/\mu)^t$
Utilizando una tasa de retorno de 20 años y un tiempo futuro de 50 años se obtiene	Utilizando una tasa de retorno de 20 años y un tiempo futuro de 50 años se obtiene
$P\{N(50) \geq 1\} = 1 - e^{-50/20} = 0.918 (91.8\%)$	$P\{N(50) \geq 1\} = 1 - (1-1/20)^{50} = 0.923 (92.3\%)$
Existe un 91.8% de probabilidad de que ocurra uno o más deslizamientos durante los siguientes 50 años.	Existe un 92.3% de probabilidad de que ocurra uno o más deslizamientos durante los siguientes 50 años.

Los resultados muestran que el Modelo Binomial es una aproximación al Modelo de Poisson. La diferencia entre los dos modelos es insignificante para tasas de retorno mayores y periodos de tiempo mas grandes. Sin embargo, los dos modelos proporcionarán resultados distintos para amenazas con intervalo de retorno y periodos de tiempo más cortos (< 25 años). Puede utilizarse la misma metodología para estimar los daños económicos futuros que pueden causar los deslizamientos.

Debido a que en Guatemala no contamos con registros históricos de deslizamientos que permitan la utilización de estas técnicas de modelizado utilizaremos datos de lluvia para inferir la ocurrencia de deslizamientos. Este procedimiento puede ser útil siempre y cuando el agente activante del deslizamiento sea la lluvia.

4.0. Análisis hidrológico. La Cabecera Municipal de Senahú está alojada en un terreno kárstico que se caracteriza por la abundancia de cavernas y dolinas. Esto ocasiona que, aunque la zona tenga elevada precipitación pluvial, la densidad de escorrentía superficial sea débil (Fig. 1). La geomorfología de la zona tiene fuerte potencial ecoturístico lo cual no ha sido aprovechado apropiadamente por la Comunidad. Gran parte de la lluvia es infiltrada debido a que las dolinas al sur y oeste constituyen zonas de recarga. Esto implica que la gran parte del flujo de agua es subterráneo. La fuerte interacción entre agua superficial y subterránea ocasiona que ocasionalmente se desarrollen inundaciones repentinas (flash floods). Estas crecidas ocurren con mayor frecuencia en la quebrada intermitente situada en el borde norte de la Cabecera Municipal ocasionando daños a las viviendas que

ANEXO 3

inadecuadamente se construyeron en el cauce del río. Aún y cuando el riesgo es inminente se siguen desarrollando otras obras de infraestructura en los márgenes de la quebrada. No existe un monitoreo sistemático de caudales de los principales ríos de la zona. Es posible que este tipo de vigilancia se desarrolle en la quebrada Trece Aguas, 3km al oriente de Senahú, donde existe una presa hidroeléctrica.

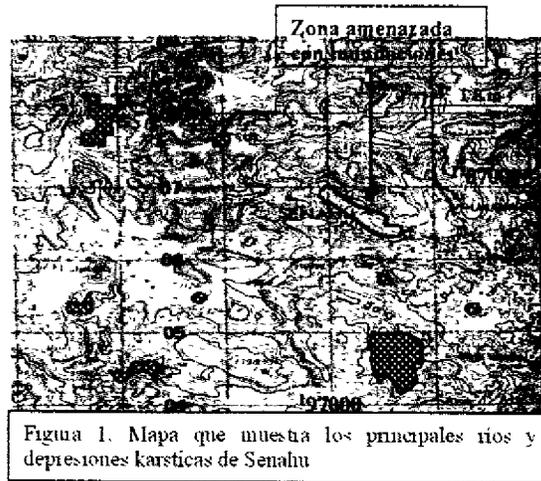


Figura 1. Mapa que muestra los principales ríos y depresiones karsticas de Senahú

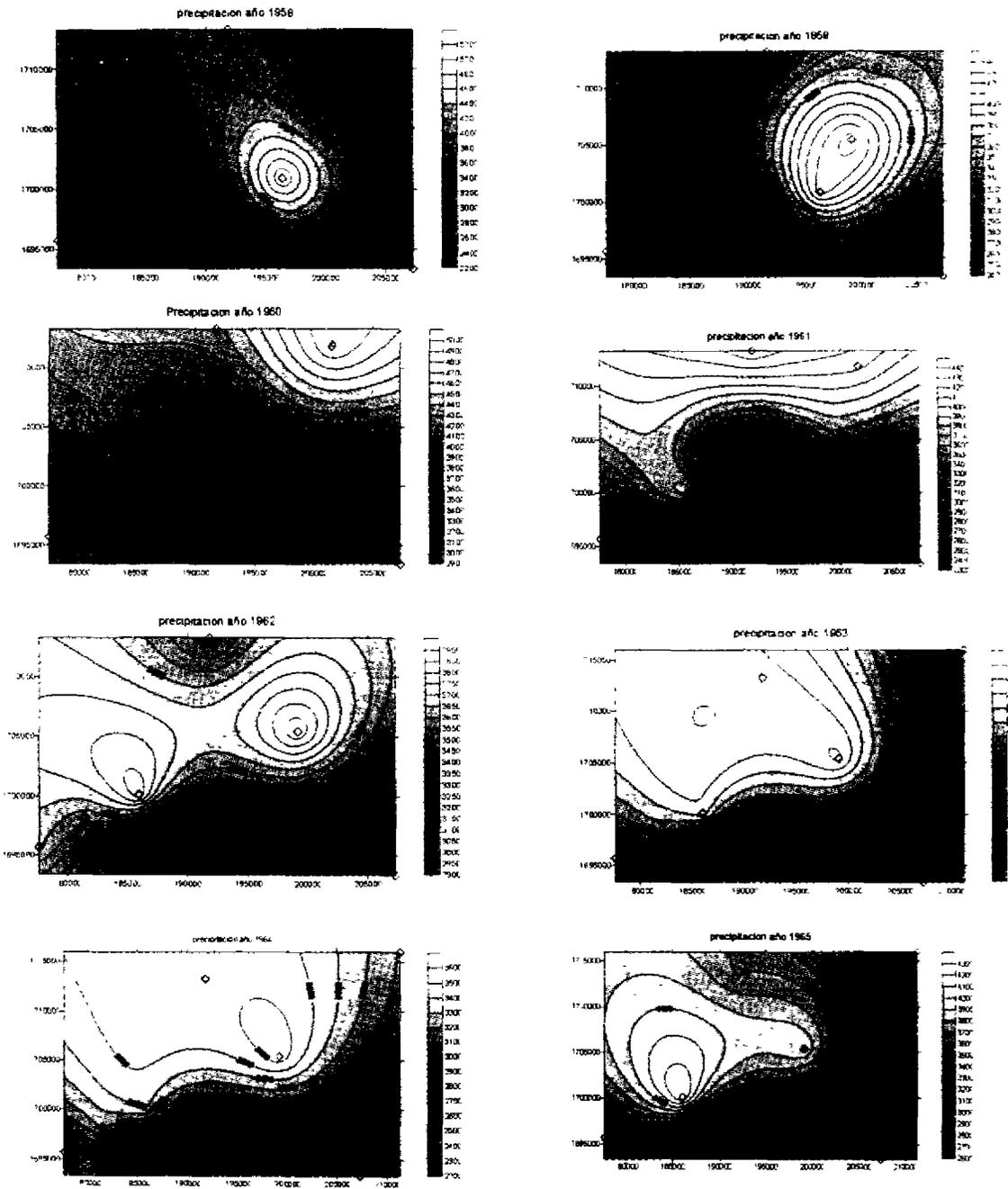
4.1 Análisis de lluvia. Debido a que la mayoría de deslizamientos han sido activados por una tormenta se realiza el análisis de datos de lluvia colectados para la región. Se tienen datos de lluvia para seis estaciones relativamente cercanas a Senahú (Cuadro 4). La frecuencia de registro de lluvia fue diaria en las estaciones pero solo está disponible el promedio mensual de lluvia para la mayoría. No se conocen datos de lluvia horaria para ninguna de las estaciones. En base a los datos de lluvia de todas las estaciones se construyeron mapas de isoyetas para diferentes años.

Cuadro 4 Estaciones con datos de lluvia para la región de Senahú

Estación	UTM		Periodo deregistro
	Este	Norte	
Seamay	199500	1705550	1955-2002
Trece Aguas	201350	1705950	1921-1953
San Juan	196500	1701600	1938-1969
Actelá	189150	1701050	1930-1961
Mocca	186100	1700050	1960-1969
Sepacuite	201850	1711950	1934-1961; 2002
El Volcán	192100	1713720	1955-1969; 1995-2002



Figura 2 Localización de estaciones Pluviométricas en el Municipio de Senahú



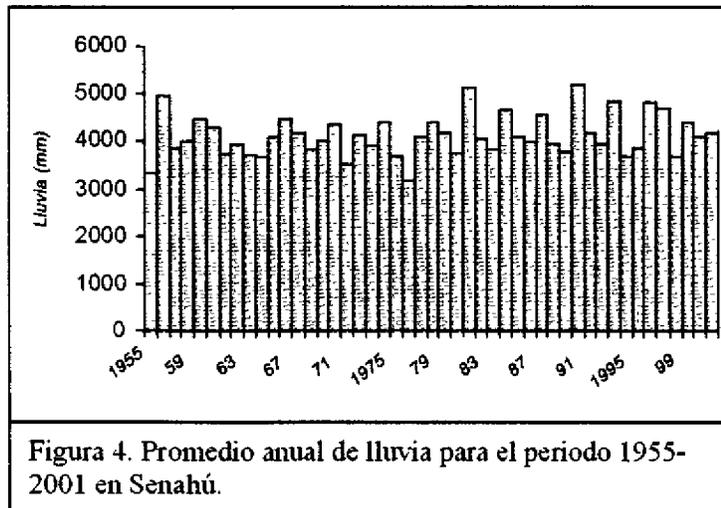


Figura 4. Promedio anual de lluvia para el periodo 1955-2001 en Senahú.

muestran que mayo no es uno de los meses más lluviosos de la zona, aunque a finales de este mes ocurrieron los deslizamientos en el Barrio El Calvario. Este evento se discute más adelante en términos de lluvia.

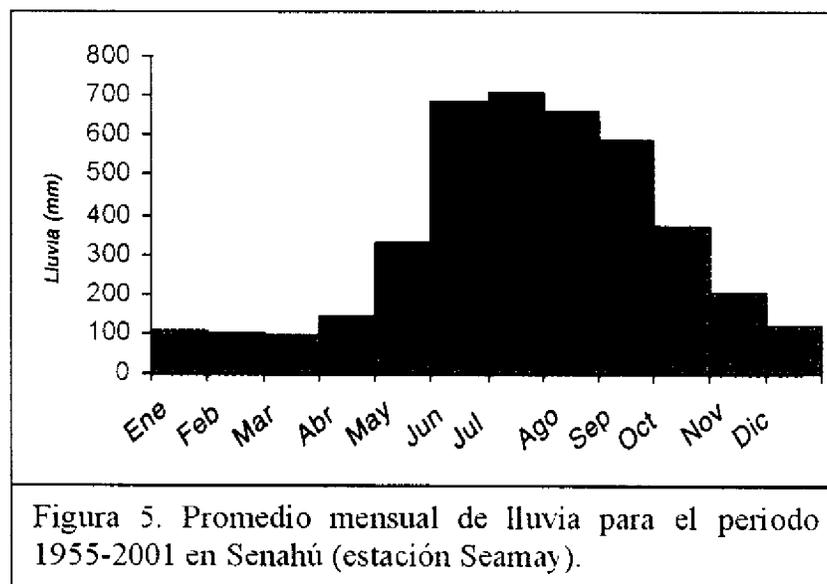


Figura 5. Promedio mensual de lluvia para el periodo 1955-2001 en Senahú (estación Seamay).

Se realizó el cálculo de la tasa de retorno para datos de lluvia de la estación Seamay. Los resultados se muestran en el Apéndice. Puede observarse que en los últimos 47 años ha existido por lo menos un mes durante el cual ha llovido 0.652m. Los resultados también muestran que, para el periodo 1955-2001, la precipitación máxima registrada durante un solo mes en la zona fue de 1 218m en el año 1993. Los datos también indican que un evento de este tipo podría ocurrir cada 49 años pero la probabilidad de que suceda es únicamente 2%.

5.0. Discusión y resultados. Los deslizamientos de la zona se han desencadenado cuando han ocurrido tormentas intensas en la zona. Esto permite inferir que el factor activante de los deslizamientos ha sido la lluvia. Por lo tanto, se realizó un análisis de estos datos para tratar de identificar si existe un valor (threshold) que permita establecer un sistema de alerta temprana por deslizamientos en la zona. Para ello se evaluaron datos de lluvia de dos eventos hidrológicos extremos. Uno de los eventos es la tormenta asociada al Huracán Mitch en octubre de 1998. Este evento desencadenó varios deslizamientos al oeste de Senahú sin que se reportaran daños significativos. Otro de los eventos fue la tormenta desarrollada en mayo del 2000 cuando ocurrieron los deslizamientos que causaron grandes daños en la Cabecera Municipal. Se tienen datos de lluvia diaria para ambos eventos registrados

en la estación El Volcán situada 8km al NW de Senahú. Las condiciones ideales de modelizado serían contar una estación de monitoreo de lluvia situada a pocos metros de donde ocurrieron los deslizamientos. Los datos de lluvia diaria y acumulada para ambos eventos extremos se muestran en las Figuras 6 y 7.

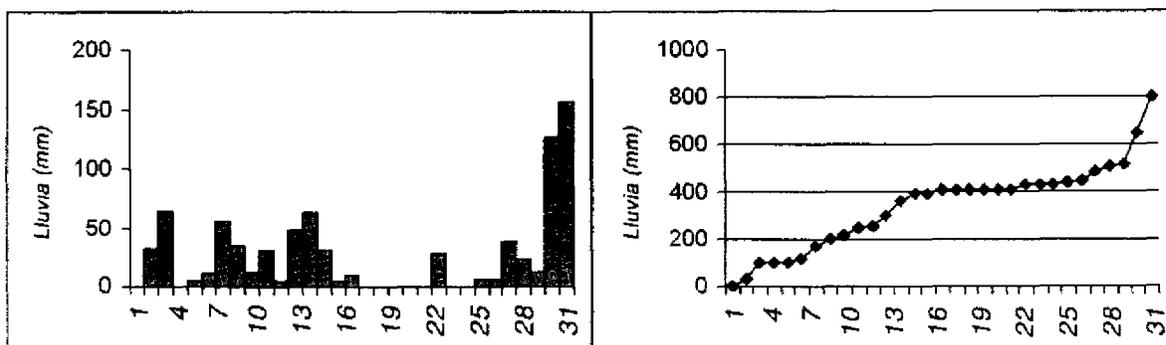


Figura 6 Lluvia diaria promedio (izquierda) y acumulada (derecha) para octubre 1998 cuando ocurrió el Huracan Mitch

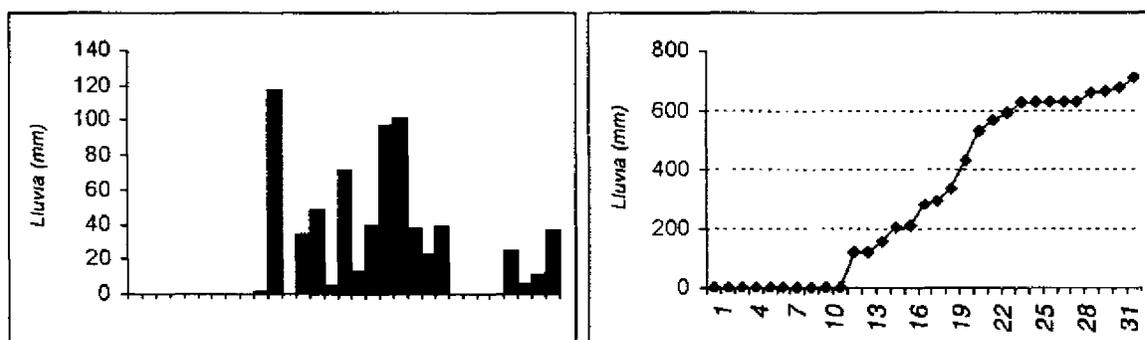


Figura 7. Lluvia diaria promedio (izquierda) y acumulada (derecha) para mayo 2000. Los deslizamientos ocurrieron el 31 de mayo

Los diagramas de barras muestran claramente la presencia de ambos eventos. Aunque la cantidad acumulada de lluvia para ambos eventos fue similar, durante el Mitch la acumulación de lluvia fue de manera gradual mientras que el evento de mayo se caracteriza por una acumulación más fuerte en un espacio más reducido de tiempo. Así mismo, en mayo 2000 se registró una profundidad acumulada de 0.6m que duró varios días mientras que durante el Mitch la profundidad acumulada más persistente fue de 0.4m de lluvia. El diagrama de lluvia acumulada para la estación Seamay sugiere que la acumulación de 0.6m de lluvia en un periodo de 15 días puede inducir deslizamientos en la zona.

Se ha demostrado que muchos deslizamientos pueden derivarse de tormentas fuertes y de duración corta, de 72 horas o menos (Chleborad, 2000). En Seattle, Washington, se han monitoreado eventos de lluvia con precipitación acumulada de 13.6cm, en un periodo de tres días, con los cuales se han asociado deslizamientos. Es importante tomar en cuenta que otros factores aparte de la lluvia pueden tener influencia significativa en el desencadenamiento de deslizamientos. Por ejemplo, la evapotranspiración puede afectar la cantidad de agua de lluvia disponible para infiltración.

6.0. Conclusiones. Se ha realizado un intento por presentar un modelo aproximativo en cuanto a las condiciones de lluvia que desencadenan deslizamientos en Senahú. Aunque no se cuenta con datos de lluvia de los sitios donde se originaron los deslizamientos puede postularse como una primera aproximación que cualquier tormenta de varios días donde se acumule más de 0.4m de agua representa una amenaza potencial por deslizamientos. Esta cifra puede servir de base para el monitoreo de la amenaza y el establecimiento de un sistema de alerta temprana en base a datos de lluvia. La implementación de un sistema de alerta temprana más preciso requiere datos

ANEXO 3

hidrometeorológicos más detallados del sitio incluyendo el balance hídrico y la geología estructural de la zona. Afortunadamente, la Cabecera Municipal de Senahú ya cuenta con una estación pluviográfica que permitirá caracterizar mucho mejor los eventos de lluvia de la zona.

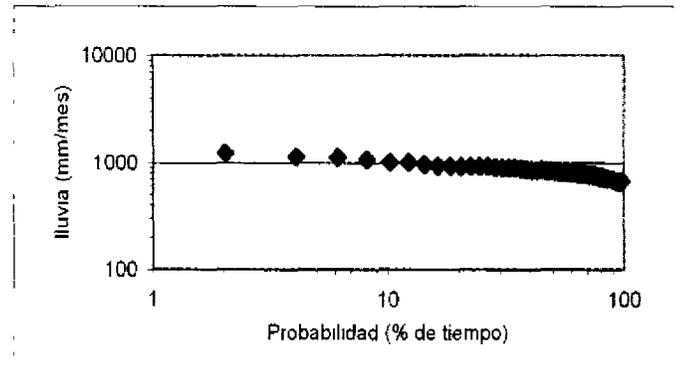
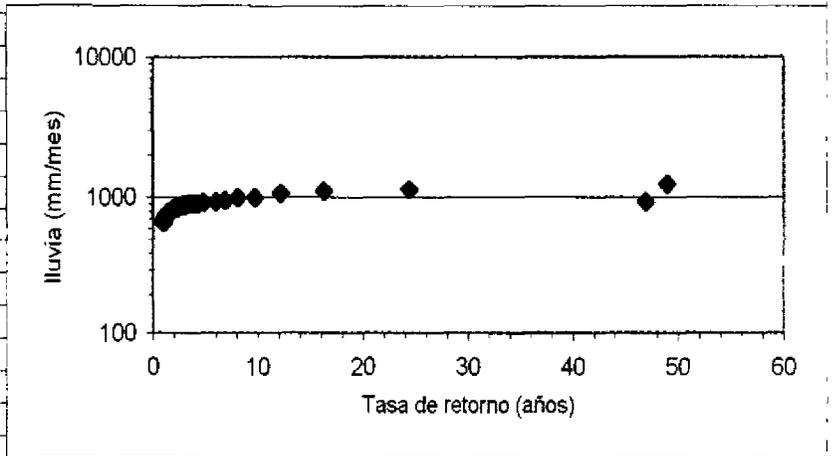
7.0. Agradecimientos. El trabajo geológico realizado en Senahú así como los resultados interpretativos de este artículo han sido posible gracias al apoyo logístico y financiero de la Misión Técnica Alemana (GTZ) y particularmente a la confianza que la Licenciada Annette Heinrich ha depositado en el Departamento de Geología del CUNOR.

8.0. Referencias

- Chleborad, A., 2000, Preliminary Method for Anticipating the Occurrence of Precipitation-Induced Landslides in Seattle, Washington. USGS Open-File Report 00-469. 17 p.
- Crovelli, R., 2000, Probability Models for Estimation of Number and Costs of Landslides: USGS Open-File Report 00-249. 15 p.

APENDICE Hoja de cálculo para la tasa de retorno de lluvia máxima en la Cabecera Municipal de Senahú. La Tabla incluye la lluvia máxima para cada año de registro en la estación Seamay.

Año	Lluvia máxima mm/mes	Rango M	Tasa de retorno (años)	Probabilidad (%) de tiempo
1955	696	41	1.19512	83.7
56	1099	3	16.33333	6.1
57	839	20	2.45000	40.8
58	992	5	9.80000	10.2
59	894	14	3.50000	28.6
1960	800	27	1.81481	55.1
61	692	42	1.16667	85.7
62	866	18	2.72222	36.7
63	824	24	2.04167	49.0
64	718	40	1.22500	81.6
1965	788	30	1.63333	61.2
66	879	16	3.06250	32.7
67	722	38	1.28947	77.6
68	653	46	1.06522	93.9
69	802	26	1.88462	53.1
1970	901	12	4.08333	24.5
71	679	44	1.11364	89.8
72	854	19	2.57895	38.8
73	874	17	2.88235	34.7
74	832	21	2.33333	42.9
1975	652	48	1.02083	98.0
76	752	36	1.36111	73.5
77	987	6	8.16667	12.2
78	772	32	1.53125	65.3
79	945	7	7.00000	14.3
1980	766	33	1.48485	67.3
81	1056	4	12.25000	8.2
82	829	23	2.13043	46.9
83	831	22	2.22727	44.9
84	902	11	4.45455	22.4
1985	655	47	1.04255	95.9
86	747	37	1.32432	75.5
87	1131	2	24.50000	4.1
88	798	28	1.75000	57.1
89	719	39	1.25641	79.6
1990	908	10	4.90000	20.4
91	765	34	1.44118	69.4
92	753	35	1.40000	71.4
93	1218	1	49.00000	2.0
94	662	45	1.08889	91.8
1995	882	15	3.26667	30.6
96	807	25	1.96000	51.0
97	789	29	1.68966	59.2
98	919	8	6.12500	16.3
99	897	13	3.76923	26.5
2000	773	31	1.58065	63.3
1	918	9	5.44444	18.4



Tasa de retorno = intervalo de recurrencia = periodicidad = T

$$T = \frac{(n + 1)}{M}$$

Factor de probabilidad P

$$P = \frac{100 * M}{n + 1}$$

Para este caso n = 48

<i>DAÑOS</i>		<i>SUELO</i>		<i>TIEMPO</i>
Pueblos <input type="checkbox"/>	Tendido Eléctrico <input type="checkbox"/>	Tipo	Primer Movimiento	<input type="checkbox"/> _____
Aldeas <input type="checkbox"/>	Tubería de Agua <input type="checkbox"/>	Espesor	Ultimo Movimiento	<input type="checkbox"/> _____
Casas <input type="checkbox"/>	Carreteras <input type="checkbox"/>			
cuantas _____	Drenaje <input type="checkbox"/>			
Muertos <input type="checkbox"/>				
Número _____				

<i>DIAGRAMA</i>	
Escala _____	
<i>OBSERVACIONES</i>	Disco No
	Foto No