

Las lluvias continuaron el día 20 de mayo pero con tendencia a disminuir luego al acercarse a costas salvadoreñas. El Huracán fue degradado a Tormenta Tropical y luego a Depresión Tropical. Sin embargo, de acuerdo a los pronósticos meteorológico emitidos durante el evento, se esperaban cantidades de lluvia acumuladas de hasta 500 milímetros aproximadamente (mm).

Los máximos valores de precipitación se registraron en la estación de San Vicente, en la zona central del país, con 286 mm de lluvia en 24 horas y 418 mm en 48 horas.

Al comparar estos valores con los 188.8 mm registrados como promedio mensual en mayo, estos equivalen a un 151.5% y 221.6% del promedio mensual respectivamente. Esto significa que en San Vicente llovió, durante dos días, más del doble de lo que llueve en el mes.

Otros lugares con apreciables lluvias fueron: La Unión y El Delirio con 234 y 168 mm en 24 horas respectivamente, ambos en el oriente del país.

Tanto San Vicente, La Unión y El Delirio fueron además los sitios que registraron las máximas intensidades. La Unión registró el máximo valor de intensidad con 32.4 mm/hr., seguidos de San Vicente con 29.8 mm/hr y El Delirio con 24.4 mm/hr. Estos valores se registraron entre las 11 a.m. del 19 de mayo y las 5 a.m. del 20 de mayo.

La tabla 1 muestra las cantidades de lluvia de aquellas estaciones que registraron más de 100 mm de lluvia entre el 19 y 20 de mayo.

Tabla 1. Registros de lluvia durante el Huracán Adrián.

ESTACION	LLUVIA 18 mayo (mm)	LLUVIA 19 mayo (mm)	LLUVIA 20 mayo (mm)	LLUVIA 21 mayo (mm)	LLUVIA* Acumulada- 48hrs (mm)	Intensidad Máxima (mm/hr)
San Vicente, volcán San Vicente	0.20	286.00	132.40	0.00	418.4	29.8
A. Ilopango, San Salvador	0.60	143.60	0.20	0.00	143.8	12.0
El Delirio, Sur San Miguel	0.51	167.89	5.84	0.00	173.7	24.4
La Unión, Depto. de La Unión	0.20	234.00	0.20	0.00	234.2	32.4
Boquerón, volcán San Salvador	1.40	111.80	0.80	0.00	112.6	12.2
Chapeltique, Norte San Miguel	1.00	136.00	8.00	0.00	144.0	17.0
Puente Viejo, Oeste Zacatecoluca	0.00	152.15	1.01	0.26	153.2	17.5
El Pacayal, Chinameca	14.00	148.60	10.80	0.00	159.4	20.2

* Acumulado del 19 y 20 de mayo.

Tal y como se describe, las lluvias se concentraron en la zona sur del centro y oriente del país, específicamente en las zonas de San Vicente, La Unión y El Delirio. La Figura 2 muestra la distribución espacial de la lluvia en El Salvador durante el huracán Adrián.

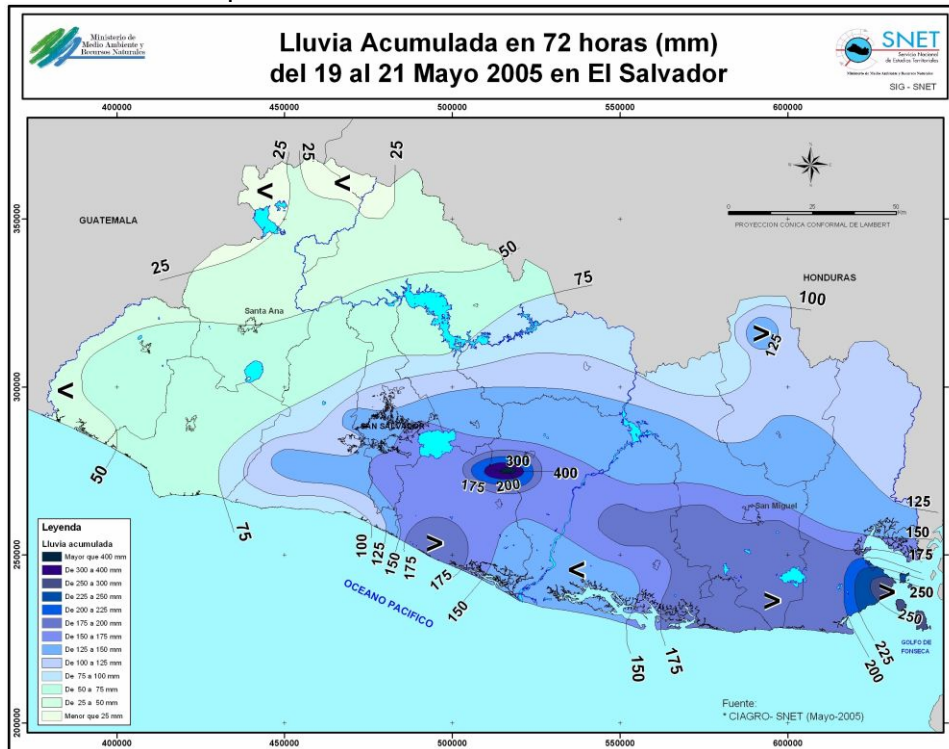


Figura 2. Cantidades de lluvia en El Salvador durante el huracán Adrián.

En cuanto a la lluvia antecedente, el Huracán Adrián ocurrió al inicio de la época lluviosa. Esto incidió para que los valores de lluvia antecedente fueran relativamente bajos. La Tabla 2 muestra la lluvia antecedente para algunas estaciones del país. Si usamos como comparación el promedio de lluvia del mes de mayo, equivalente a 188.8 mm, la mayoría de estaciones, a excepción de Chapeltique, habían alcanzado en promedio del 74% de este valor.

Tabla 2. Lluvia antecedente al Huracán Adrián.

ESTACION	LLUVIA Del 1 al 19 mayo	LLUVIA Antecedente 15 días	LLUVIA Antecedente 4 días
San Vicente	156.0	121.8	10.4
A. Ilopango	136.9	110.6	7.1
El Delirio	137.9	130.3	17.0
Boquerón	172.0	124.0	9.6
Chapeltique	269.0	234.0	14.0
R. Jiboa Puente Viejo	95.9	90.3	6.3

3. Umbrales de lluvia usados para el pronóstico de deslizamientos durante el Huracán Adrián.

Muchos deslizamientos ocurren durante y después de periodos de intensas lluvias. Esto ha llevado en los últimos años a establecer correlaciones entre las lluvias y los deslizamientos, es decir, a determinar valores (umbrales) de lluvia que generan deslizamientos de tierra en laderas o taludes.

Una de las investigaciones más reconocida durante los últimos años ha sido la desarrollada por Lumb (1975) para la Oficina de Ingeniería Geotécnica de Hong Kong. Lumb examinó fallas en taludes y correlacionó su ocurrencia con la lluvia. Usando datos de lluvia de varios pluviómetros. Lumb no sólo identificó diferentes niveles de severidad de los deslizamientos sino que también demostró que la lluvia antecedente de 15 días correlaciona con la lluvia de 24 horas. La figura 3 muestra los resultados de la mencionada investigación.

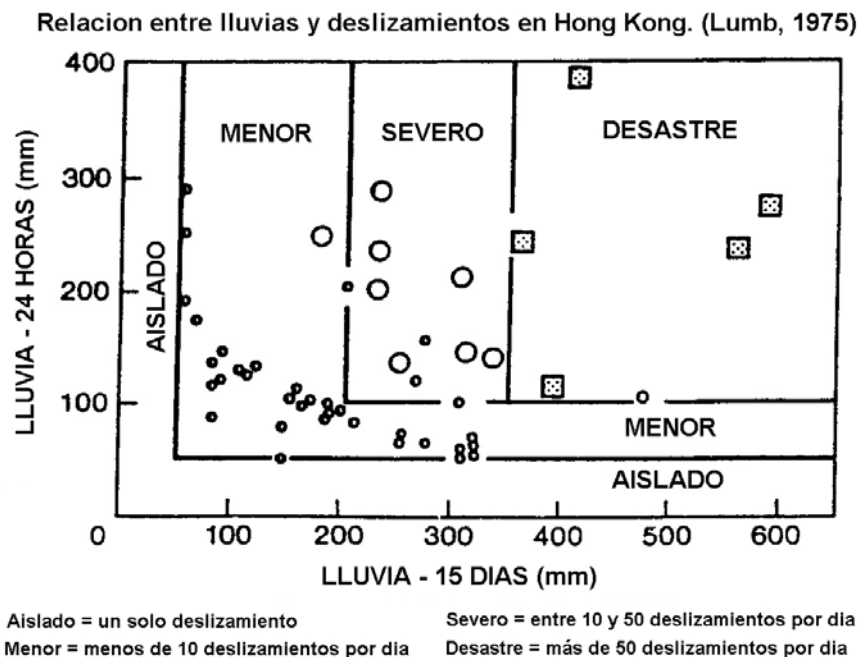


Figura 3. Correlación entre lluvias y deslizamientos en Hong Kong. (Lumb 1975).

Según esta correlación, eventos desastrosos ocurren cuando la lluvia de 24 horas excede los 100 milímetros y la lluvia antecedente de 15 días excede 350 milímetros, mientras que, eventos severos, se generan cuando la lluvia alcanza los 100 milímetros por día y 200 milímetros de lluvia antecedente.

Usando como base la investigación de Lumb, se recopiló información de varios deslizamientos generados por lluvia en El Salvador durante los últimos 10 años, así como también información de la precipitación antecedente a esos eventos. Entre los deslizamientos considerados están El Picacho (1982), San Vicente (1995) y los causados por el Huracán Mitch en la zona de Berlín y Chalatenango (1998). La tabla #3 muestra la lista de estos deslizamientos así como sus respectivos valores de precipitación antecedente.

Tabla 3. Principales deslizamientos en El Salvador causados por lluvias.

PRINCIPALES DESLIZAMIENTOS OCURRIDOS EN EL SALVADOR ENTRE 1995-2005	TIPO deslizamiento	LLUVIA antecedente 15 días (mm)	LLUVIA 24 horas (mm)
1. La Cuaresma, Metapan, 1995	Flujo de lodo	170	82
2. La Burrera, Cabañas, 1996	Rotacional	249	86
3. Mitch-Chalatenango, 1998	Rotacional	215	134
4. Guadalupe, 2001	Flujo de lodo	171	111
5. San Vicente, 1995	Flujo de lodo	357	139
6. El Picacho, 1982	Flujo de lodo	271	199
7. Mitch-Berlin, 1998	Flujo de lodo	239	315
PROMEDIO		239	152

Luego se graficaron estos datos en la gráfica de Lumb, obteniéndose como resultado la figura #4. En ella, los deslizamientos generados por lluvias en El Salvador han sido indicados en azul. Asimismo, el promedio de lluvia que han ocasionado estos deslizamientos se han marcado en rojo.

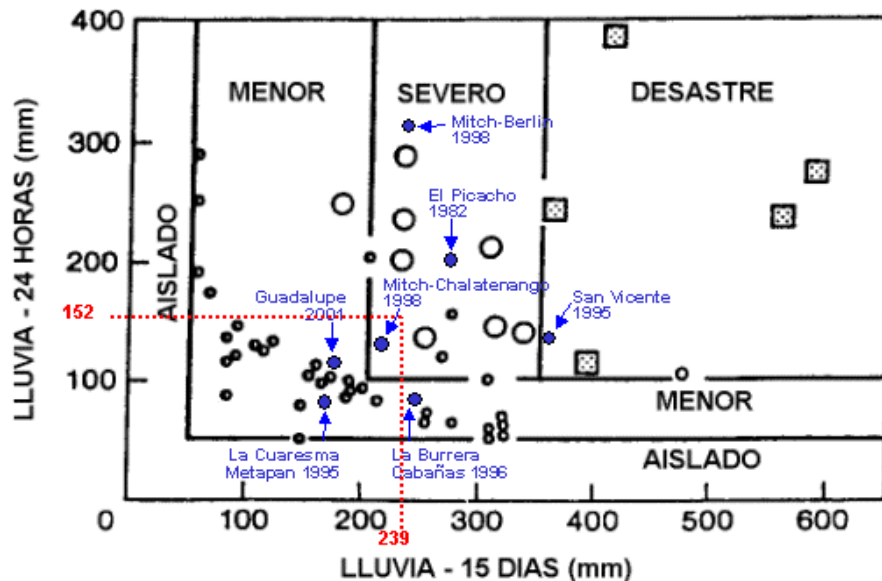


Figura 4. Comparación entre deslizamientos de El Salvador y gráfica de Lumb.

De la figura #4, podemos estimar que el promedio de lluvia en 24 horas que puede producir un deslizamiento en El Salvador es de 150 mm y el promedio de lluvia antecedente de 15 días que puede producir un deslizamiento es de 240 mm.

No obstante, el análisis anterior y tomando en consideración: a) la magnitud del Huracán Adrián b) los umbrales usados por Lumb para Hong Kong y c) las incertidumbres en el pronóstico de deslizamientos, **se utilizó el valor de 100 mm en 24 horas como umbral para el disparo de deslizamientos** durante el Huracán Adrián. Cabe indicar que “no” se consideraron valores de lluvia antecedente.

5. Boletines emitidos durante Adrián

Un total de cuatro boletines fueron emitidos durante el Huracán Adrián, entre las 4:00 a.m. del viernes 20 y las 10 a.m. del sábado 21 de mayo. Estos boletines se emitieron al sobrepasar el límite de 100 mm de lluvia en 24 horas que se estableció como umbral para generar deslizamientos. En ellos se indicaban las zonas de nuestro país donde se consideraba necesario mantener vigilancia por deslizamientos. Estas zonas fueron las siguientes:

- Sierra de Jucuarán y volcán de Conchagua.
- Sierra Tecapa-Chinameca-San Miguel.
- Volcán de San Vicente.
- Volcán de San Salvador y alrededores del lago de Ilopango.
- Cordillera del Bálsamo.

6. Deslizamientos generados por Adrián

La tabla #4, presenta un cuadro consolidado de los deslizamientos disparados por el Huracán Adrián. La información fue obtenida a través de diversos medios tales como: reportes del COEN, Geólogos del Mundo, SNET, LAGEO-JICA, FOVIAL así como información de la prensa escrita y radiofónica.

ZONA DEL PAIS	No.	LUGAR	REPORTE	FUENTE
OCCIDENTE	1	JUAYUA	Varios derrumbes en la carretera Los Naranjos-La Majada –Juayua.	Alcaldía de Juayua
	2	CERRO VERDE	Derrumbe de 70 m3 en carretera al Cerro Verde.	FOVIAL
	3	AHUACHAPAN	Dos deslizamientos pequeños en los alrededores del campo geotérmico de Ahuachapan. Uno de ellos en la calle que conduce hacia la central geotérmica.	LAGEO
CENTRO	4	COORDILLERA DEL BÁLSAMO	4 deslizamientos de pequeña magnitud en la carretera a Comasagua. Deslizamiento en el cantón Los Amates. No se informan daños.	COEM Santa Tecla

	5	SAN VICENTE	Pequeños derrumbes entre los Km 70 y 80 de la carretera panamericana, sector conocido como Quebrada Seca.	FOVIAL
	6	SOYAPANGO	Derrumbe en comunidad 3 de Enero, provocando evacuación de varias familias.	Alcaldía de Soyapango
	7	LA PALMA	Derrumbe en el Km 70, carretera Troncal del Norte.	FOVIAL
	8	LOS CHORROS	Derrumbe de rocas en carretera Panamericana causa accidente vehicular y cierre temporal de la vía.	Radio
	9	PLANES DE RENDEROS	Pequeños derrumbes en los taludes de la carretera .	Radio
	10	SENSUNTEPEQUE	Pequeños derrumbes en los taludes de la carretera .	Radio
	11	LAGO DE ILOPANGO, SECTOR SUR.	8 derrumbes de pequeños en carretera Panorámica, entre Santiago Texacuangos y San Miguel Tepezontes, volumen = 2-4 m ³ de suelo, en taludes de alta pendiente, con tobas piroclásticas, andesitas muy alteradas y suelos rojos. Material deslizado saturado y en ocasiones arrastre de árboles. En todos los casos se observó obstrucción de cunetas.	SNET y Geólogos del Mundo.
	12	LAGO DE ILOPANGO, SECTOR SUR	Cerca de San Francisco Chinameca se observan dos deslizamientos en carretera Panorámica, con volumen = 8-10 m ³ , de 6-8 m de ancho y pendiente = 60%. Ambos han obstruido cunetas y un carril de la calle.	SNET y Geólogos del Mundo.
ORIENTE	13	LOLOTIQUE	Pequeños derrumbes en alrededores de Lolotique (El Capulín)	COED San Miguel
	14	CIUDAD BARRIOS	Pequeños derrumbes en alrededores de Ciudad Barrios (El Chorrero)	COED San Miguel
	15	JUCUARAN	Derrumbe en la carretera , desvió de Samuria (hacia Jucuaran)	Geólogos del mundo
	16	MONCAGUA-CHAPELTIQUE	Derrumbes en los taludes de la carretera entre Moncagua y Chapeltique.	FOVIAL
	17	SAN MIGUEL-SIRAMA	Derrumbe de 85 m ³ en carretera entre San Miguel y Sirama.	FOVIAL
	18	BERLIN-ALEGRIA	5 deslizamientos pequeños en los alrededores de Berlín y Alegría. 4 de ellos en taludes de calles y carreteras de la zona.	LAGEO

Tabla 4. Lista de deslizamientos generados por Adrián.

De los 18 casos de deslizamientos del cuadro anterior, tres de ellos corresponden a la zona occidental del país, nueve a la zona central y seis a la zona oriental. La ubicación aproximada de estos deslizamientos se muestra en la Figura #5. Cabe indicar que 15 de ellos ocurrieron en taludes de calles y carreteras. Tomando en consideración las superficies de ruptura y el volumen aproximado, los deslizamientos antes indicados se han clasificado como “fallas superficiales” de los taludes (Abramson, 2002).



Figura 5. Mapa de deslizamientos generados por Adrián.

7. Ejemplos de los deslizamientos disparados durante Adrián

- DESLIZAMIENTO No.18-a, foto 1 en anexos.
 - Ubicación: Calle interna del Campo Geotérmico de Berlín. Caserío La Lima, Cantón El Zapotillo, Municipio de Alegría, Depto. de Usulután.
 - Dimensiones: Ancho = 5m, Largo = 8m, Profundidad = 0.3m
 - Volumen = 12 m³
 - Pendiente del talud = 75°
 - Daños: acumulación de material en la base del talud.
- DESLIZAMIENTO No. 18-b, foto 2 en anexos.
 - Ubicación: Carretera Berlín-Alegría, antes de Las Crusitas. Municipio de Berlín, Depto. de Usulután.
 - Dimensiones: Ancho = 10m, Largo = 7m, Profundidad = 0.3m
 - Volumen = 21 m³
 - Pendiente del talud = 80°
 - Daños: obstrucción parcial de la carretera Berlín-Alegría.
- DESLIZAMIENTO No. 5, foto 3 en anexos.
 - Ubicación: Cerca de Quebrada Seca, carretera panamericana hacia San Miguel. Depto. de San Vicente.
 - Dimensiones: Ancho = 4m, Largo = 1m, Profundidad = 0.5m

- Volumen = 2 m³
 - Pendiente del talud = 60°
 - Daños: obstrucción parcial de la carretera panamericana.
- DESLIZAMIENTO No. 12, foto 4 en anexos.
 - Ubicación: Carretera Panorámica, Municipio de San Francisco Chinameca, cantón San José de la Montaña, límite entre San Salvador y La Paz.
 - Dimensiones: Ancho = 4m, Largo = 5m, Profundidad = 1m
 - Volumen = 20 m³
 - Pendiente del talud = 60°
 - Daños: obstrucción parcial de la carretera panorámica.

8. Conclusiones

1. Los deslizamientos causados por Adrián son del tipo superficial y los volúmenes fueron menores a 100 m³. En su mayoría, estas fallas ocurrieron en taludes a lo largo de calles y carreteras del país con pendientes mayores de 60 grados.
2. La mayoría de los deslizamientos reportados se ubican hacia el sur de la zona central y oriental del país. Esto coincide con aquellas zonas donde se registraron las mayores precipitaciones.
3. Los valores de precipitación antecedentes al Huracán Adrián fueron bajos, principalmente porque Adrián se desarrolló a pocos días de haber iniciado la época lluviosa.
4. Es necesario seguir investigando el efecto de las lluvias antecedentes para el pronóstico de deslizamientos de tierra. El hecho que no se haya reportado deslizamientos de gran volumen durante el Huracán Adrián, indica que se necesita de la lluvia antecedente para generar grandes deslizamientos.

8. Referencias

1. Abramson, L. W., Lee, T. S., Sharma, S. & Boyce, G. M. (2002). Slope Stability and Stabilization Methods. 2nd Ed. John Wiley & Sons, Inc. New York.
2. Lumb, P., 1975. Slope Failures in Hong Kong, Quarterly Journal of Engineering Geology, Vol. 8, pp. 31-65.
3. Servicio Hidrológico Nacional. Centro de Pronóstico Hidrológico. Servicio Nacional de Estudios Territoriales. Informe Resumen de Respuesta Hidrológica en los Ríos de El Salvador por el Huracán Adrián. Del 17 al 21 de Mayo de 2005.

ANEXOS FOTOGRAFÍAS



Foto 1. Campo geotérmico de Berlín.



Foto 2. Carretera Berlín-Alegría.



Foto 3. Carretera Panamericana, cerca de Quebrada Seca.



Foto 4. Carretera panorámica,
cerca de San Francisco Chinameca.