

LEVANTAMIENTO DE DESLIZAMIENTOS DE TIERRA EN EL VOLCAN DE SAN SALVADOR

APOYO AL PROYECTO MITIGACION DE LOS EFECTOS MULTIAMENAZAS EN ZONAS DE RIESGO DEL VOLCAN DE SAN SALVADOR

1. INTRODUCCIÓN

El volcán de San Salvador

El volcán de San Salvador con una altura máxima de 1960 metros se encuentra señoreando la ciudad de San Salvador, capital de la República de El Salvador. Es un sistema compuesto por los restos de centros de erupciones múltiples que caracterizan su silueta, con una elevada y aguda cumbre en su parte más oriental (el Picacho, 1960 m) una parte central más chata que contiene un gran cráter (el Boquerón 1890 m) y una tercera elevación menos prominente, al noroeste del cráter, llamada el Jabalí. Todo el complejo se enmarca en un volumen aproximado de 110 km².

El volcán ha hecho erupción en varias ocasiones en los últimos 70.000 años mediante escapes a través de su cráter central, así como a través de fisuras en sus flancos. En un radio de 10 km alrededor del volcán se encuentran varios conos de cenizas y cráteres de explosión. En los últimos 800 años han ocurrido erupciones casi exclusivamente en unos cuantos kilómetros más allá del flanco noroeste del volcán. Estas erupciones han consistido en pequeñas explosiones y emplazamientos de flujos de lava. En la historia del volcán de San Salvador han existido erupciones violentas que no debe descartarse que vuelvan a ocurrir¹.

Asociados a los volcanes existen otro tipo de actividades naturales que pueden poner en riesgo a las comunidades asentadas en sus cercanías. Un ejemplo de éstas son los flujos de lodo, rocas y escombros denominados lahares². Estos pueden ocasionarse durante los periodos de actividad volcánica pero también en los periodos de inactividad, desencadenados entonces por eventos hidrometeorológicos, como fue el caso del volcán Casita en Nicaragua, durante el huracán Mitch.

En el volcán de San Salvador existen depósitos de desprendimientos de tierra históricos que han involucrado volúmenes de hasta unos cientos de miles de metros cúbicos. Estos desprendimientos han estado desencadenados por eventos hidrometeorológicos así como por eventos sísmicos. Algunos de estos eventos se han transformado en flujos de escombros que han inundado las áreas bajas al pie del volcán. Los más recientes de ellos se remontan a los años 1982 y 2001.

En este informe vamos a centrarnos sobre estos últimos fenómenos, analizando la peligrosidad que la ladera oriental del Picacho representa para la ciudad de San Salvador. Para ello realizaremos un análisis de los datos bibliográficos recopilados, un estudio comparativo de los dos fenómenos más significativos del siglo pasado y un reporte de las consecuencias de los sismos del pasado año en esta zona.

2. REFERENCIAS HISTÓRICAS

¹ Major, J.J. et al.: **Riesgos volcánicos de la región de San Salvador**. Reporte de archivo abierto 01-366 USGS

² **Lahar**: Término indonesio utilizado en geología para designar las corrientes detríticas muy fangosas que contienen fragmentos de roca volcánica de dimensiones muy variables (bombas, piroclastos, fragmentos de lava ya consolidada, etc.) que, a causa de la embebición por las lluvias tempestuosas, se desliza, especialmente por las laderas de elevada pendiente y mal consolidadas de los aparatos volcánicos; sus efectos a menudo son peores que las propias erupciones catastróficas. Diccionario de geología del Institut d'Estudis Catalans, Barcelona 1997.

Del Catálogo de desastres, accidentes y ecología (1915-1990)³ compilado por Romano del Libro de Oro de La Prensa Gráfica, hemos seleccionado todas aquellas noticias referentes al volcán de San Salvador y al área de influencia de la ciudad de San Salvador. Estas noticias han sido clasificadas en cinco categorías generales para su procesamiento.

La primera categoría con el nombre de **INUNDACIÓN** se refiere a todos los procesos hidrometeorológicos registrados y los efectos de su evolución sobre la zona. La segunda categoría llamada **SISMOS** hace referencia a los movimientos sísmicos registrados y sus efectos. La tercera categoría con el nombre de **VULCANISMO** registra los fenómenos volcánicos sucedidos en estos 75 años. La cuarta categoría reúne todas las noticias referentes a la urbanización del área de interés, su desarrollo y a la legislación que ordena este crecimiento, por lo que se ha llamado **URBANISMO**. Como puede observarse, esta legislación, a menudo, nace de la necesidad de dar una respuesta a los eventos naturales causantes de desastres en el desarrollo económico y, sobre todo, social del gran San Salvador. La última categoría reúne las noticias referentes a la conservación del suelo y la protección de la masa forestal así como algunas noticias de carácter medio ambiental bajo el epígrafe **FORESTAL**. (Ver Anexos para el detalle de las noticias)

Al analizar la aparición de las noticias en la prensa hay que reflexionar sobre si un hecho determinado aparece publicado, por lo extraordinario de su caso, una vez o bien, por su magnitud, aparece durante varios días (ver Tabla 1). Revisando los titulares vemos que existen casos que obedecen a las dos posibilidades. En la tabla antes mencionada hemos contabilizado como Sucesos las veces que aparecen en la prensa noticias relacionadas con desastres y como Eventos el número de sucesos desencadenantes de noticias ocurridos o, en su defecto, recogidos en la prensa.

De estas cinco categorías existen dos especialmente destacadas por la cantidad de veces que aparecen, especialmente la categoría de **SISMOS**, que genera una elevada expectación debido a los desastrosos efectos ocasionados en breves instantes y por su impactante efecto en el sector económico del país. Por otro lado, la categoría de **INUNDACIÓN**, inmediatamente después que la de **SISMOS**, debe este segundo lugar a la gran cantidad de fenómenos relacionados con los eventos hidrometeorológicos que sacuden al país. Así, en varias ocasiones, reportes de movimientos de ladera se han agrupado bajo esta categoría, junto con inundaciones, desbordamientos y hundimientos, debido a su estrecha relación con el paso de un temporal o un huracán por la zona.

Tabla 1: Eventos ocurridos entre 1915 y 1990

Nº a.	década	I	S	V	U	F	Sucesos	Eventos
9	1915 - 1925	8	10	2	3	-	23	22
9	1926 - 1935	9	4	2	5	1	21	21
8	1936 - 1945	2	3	-	2	2	9	9
4	1946 - 1955	4	1	-	-	-	5	5
7	1956 - 1965	3	26	-	-	-	29	19
6	1966 - 1975	5	4	-	1	3	13	9
3	1976 - 1985	3	3	-	2	-	8	4
5	1986 - 1990	3	15	-	2	5	25	15
51	1915 - 1990	37	66	4	15	1 1	133	104

N a.: Número de años registrados

I: Inundación; S: Sismos; V: Volcanismo; U: Urbanismo; F: Forestal

Sucesos: Número de noticias registradas

Eventos: Número eventos totales ocurridos por década

(Modificado del registro realizado en el Libro de Oro de la Prensa Gráfica)²

³ Romano, L.E. (1997): **Catálogo de desastres, accidentes y ecología (1915 – 1990)**. CEPRODE

Las categorías de URBANISMO y FORESTAL que hacen referencia a disposiciones para el ordenamiento del territorio y la conservación de los espacios naturales aparecen en menor medida. Dentro de la primera de estas dos categorías hay varias noticias referentes a la expansión urbana de San Salvador y la presión que esta expansión causa sobre el entorno. De las once entradas relacionadas con la categoría FORESTAL hay cuatro referentes al exceso de tala en todo el país, en especial en el volcán de San Salvador, el cerro de San Jacinto y la subcuenca de Ilopango, es decir, en el área directa de influencia del Gran San Salvador (ver Tabla 1 y Anexos).

Del mero recuento de los fenómenos reportados en el Catálogo de desastres, accidentes y ecología antes mencionado (ver Tabla 1) destaca el gran número de citas sobre sismos que alcanza hasta el 50 %. La suma de esta categoría con la segunda en número de citas alcanza el 77 % de las entradas registradas. Destacamos este hecho porqué estas dos primeras categorías, SISMOS e INUNDACIONES, pueden ser desencadenantes de inestabilidades de ladera. De hecho la historia reciente nos demuestra que así ha sido y, por lo tanto, así puede volver a suceder. Debemos tener muy en cuenta esta alta recurrencia para tomar las medidas adecuadas y apoyarlas con decisión a través de políticas y leyes traducidas en reglamentos y mecanismos para llevarlas a cabo, en consenso con expertos, políticos y la población civil.

Hay que hacer notar que la mayoría de las citas recogidas, para el área del Gran San Salvador, no destacan derrumbes o deslizamientos más que en siete ocasiones, lo que representa un cinco por ciento de los datos registrados. Esto es así porque en el área de San Salvador no tienen lugar grandes inestabilidades de ladera, en cuanto a que la ciudad se asienta en un lugar de onduladas pendientes pero suaves. Han habido y hay riesgo por inestabilidades de ladera en los abruptos márgenes de las quebradas, pero normalmente estos lugares no deben estar habitados, por lo que la incidencia de estos fenómenos es baja.

La ocupación de estos espacios es relativamente reciente, debido a la desestructuración de los sectores rurales, la falta de recursos de gran parte de la población para hacer frente a las crisis sociales desencadenadas por el conflicto civil, los terremotos, etc., por ese motivo su influencia en las noticias publicadas no es grande. En los últimos doce años representarían un espacio mayor, debido a la recurrencia de los problemas que presentan estas zonas, delincuencia, drogas, pobreza y los efectos de los eventos naturales en ellas, inundaciones y deslizamientos de tierras.

Estos deslizamientos que han ocurrido de manera recurrente implican movimientos de tierra de pocos metros cúbicos a, en raros casos, centenares de metro cúbicos. Son deslizamientos de pequeños envergadura pero de efectos recurrentes, lo que hace que sus efectos, sumados año tras año, sí sean importantes. Estos deslizamientos afectan a una población creciente de escasos recursos y elevada vulnerabilidad, sobre todo social y económica, que se encuentran ubicadas en los márgenes de las quebradas que, desde la Cordillera del Bálsamo y el Volcán de San Salvador, drenan el área metropolitana. Estas quebradas han sido el lugar en el que se han refugiado un número creciente de población desde el terremoto de 1986, habitando en zonas que deberían ser decretadas zonas de policía o de actividad restringida, en las áreas naturales de inundación de los torrentes.

El incremento de noticias referentes a las recurrentes inundaciones y deslizamientos en estas zonas se debe, sin duda, a un aumento de estos episodios, pero sobre todo, por un incremento de la población afectada. El número creciente de eventos peligrosos para la población ha sido alimentado por un incremento de la escorrentía debido al aumento de la superficie "impermeabilizada" por un expansivo tejido urbano. El crecimiento de la ciudad hacia cotas superiores en las laderas circundantes ha sido notorio, aumentando la superficie techada y asfaltada. Por otra parte, las noticias reportan ante todo tragedias humanas: la pérdida de viviendas, de infraestructura y lamentablemente de vidas humanas. En

este sentido cabe destacar el aumento de la presión sobre estas zonas de alto riesgo que deberían constituir en la mayoría de casos, como indicábamos más arriba, zonas verdes no habitadas.

En cuanto a las laderas del Picacho, en estos setenta y cinco años han tenido lugar dos episodios que han producido flujos de materiales que han llegado hasta las zonas urbanizadas. A medida que la urbe crece, como explicábamos más arriba, mayor será la presión que ejerza sobre su entorno. En este caso se tiende a construir en cotas más elevadas, abriendo calles con fuertes pendientes y reduciendo, en las zonas más abruptas de las laderas, el área forestada. De esta manera se aumenta el efecto de la erosión sobre las partes altas de las quebradas, con fuertes desniveles, incrementando la probabilidad de ocurrencia de inestabilidades de ladera y la incidencia de éstas sobre la población.

El primero y mayor de estos flujos, el de 1934, no ha sido registrado, debido a que en aquel momento afectó a un área no poblada. El segundo flujo, ocurrido en la misma micro cuenca en 1982, afectó directamente a la población de la colonia Montebello.

El flujo de escombros de 1934

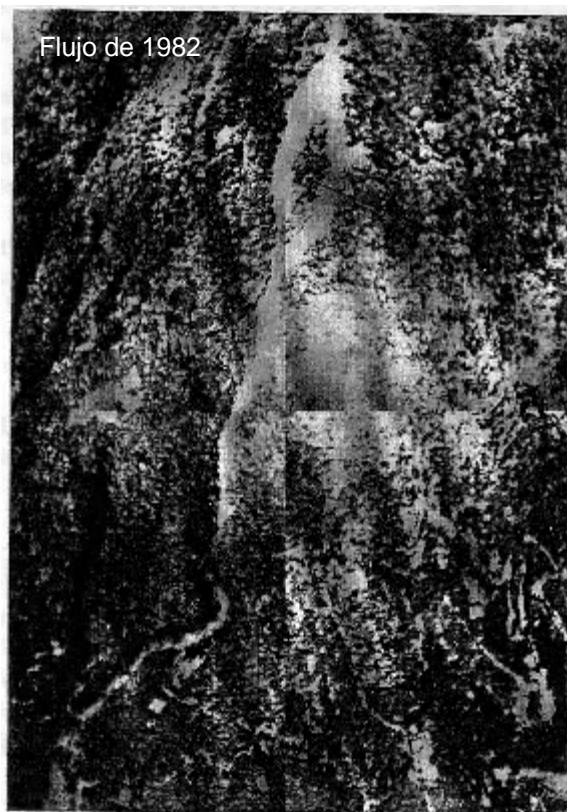
Los deslizamientos de tierra de 1934 se desencadenaron después de un periodo de lluvias que se prolongó por siete días (temporal) y afectó a todo el país. En los dos últimos días de las lluvias ocurrieron la mayor parte de los deslizamientos. Asociado a esta serie de inestabilidades encontramos la que causó la destrucción del pueblo de Ocotepeque (Dpto. de Chalatenango).

En cuanto al volcán de San Salvador, las lluvias produjeron un deslizamiento que arrastró toda la capa vegetal y el suelo, dejando al descubierto las lavas infrayacentes. El flujo se condujo por la Quebradona, afluente de la quebrada El Nispero, hasta el área que ahora ocupa el Reparto Montebello. La superficie ocupada por los materiales removidos fue cinco veces mayor que la del episodio de 1982. Por fortuna en el 34 esta área no estaba habitada, por este motivo tampoco hay mayor noticia del evento.

El flujo de escombros de 1982

En septiembre de este año se registró otro temporal entre los días 17 y 20. En varios observatorios meteorológicos se registraron las intensidades mayores del siglo, como es el caso de el Boquerón, especialmente entre la noche del 18 y la mañana del 19. Como consecuencia de ello se produjeron numerosos deslizamientos por todo el país.

El deslizamiento de el Picacho ocurrió en la cota 1925 m y descendió a través de la quebrada el Nispero hasta las zonas urbanizadas que se encontraban sobre la cota 790 m en el Reparto Montebello.



El área ocupada por la zona de deslizamiento alcanza entre las 10 y las 15 ha, pudiéndose extender el área afectada directamente por el deslizamiento, movimientos de tierra y asentamientos hasta las 60 ha. La cabecera del deslizamiento se encuentra entre los 1925 m y los 1600 m sobre el nivel del mar, implicando un área de entre 700 m de largo por 65 de ancho y un aproximado de 7 m de profundidad. El volumen estimado de material removido es de 425.000 m³ según Kiernan y Ledru⁴.

Según estos mismos autores, a ambos lados de la cicatriz de 1982, en una superficie de 6.5 ha, pueden producirse, en cualquier momento, nuevos movimientos debido al estado de degradación e inestabilidad. Estas partes pueden modificar su morfología a través de movimientos de suelo lentos pero durante largos periodos de tiempo.

El deslizamiento dejó, a lo largo de la quebrada el Nispero, un estimado de 150.000 m³ de material removido, susceptible de entrar en movimiento y llegar al distrito de Montebello con nuevos temporales (Kiernan y Ledru)³.

El flujo de lodo, vegetación y agua se estimó en su parte baja en 200.000 m³ y afectó principalmente al Reparto Montebello Poniente, pero también a la colonia Lorena, Colonia San Mauricio, Residencial Montebello, Colonia San Ramón y Colonia Santa Margarita.

En la actualidad, para la quebrada el Nispero, parecen haber llegado a una solución de estabilidad para la ladera, al menos temporalmente. Desde 1982 la ciudad de San Salvador ha crecido bastante, y aún ahora continúa creciendo en dirección a cotas superiores por la ladera del volcán. En esta tendencia

⁴ Kiernan S.H. Ledru, O. (1996): **Remedial measures against landslide hazards at the San Salvador volcano, El Salvador** Royal Institute of Technology, Stockholm

encontramos el proyectado Anillo Periférico, que desarrollará un crecimiento habitacional, de servicios e incluso de industria en las orillas de su trazado. Este se conduce al pie del volcán por una cota elevada. Más allá de las consideraciones políticas o estratégicas del caso, queremos hacer notar la necesidad, en caso que la obra se ejecute, de tener en cuenta la ocurrencia de estos flujos de escombros, capaces de remover volúmenes de varios centenares de miles de metros cúbicos.

La ocurrencia de fenómenos de esta índole no es tan excepcional, si consideramos que en un periodo de 75 años han ocurrido dos eventos de este tipo. Por otro lado, la tendencia climática actual, a pesar del calentamiento y la sequía a la que nos encaminamos, parece favorecer la formación de episodios meteorológicos de elevadas intensidades, que favorecen a su vez, la formación de deslizamientos y de flujos de gran caudal que evolucionan a gran velocidad. Por ello es necesario sobre dimensionar las obras de paso sobre las quebradas que drenan la ladera del Picacho.

3. GEOLOGÍA

El complejo volcánico de San Salvador

El volcán de San Salvador es un estrato volcán complejo, compuesto por varios aparatos y estructuras de edad y significado bien definidos⁵. Según la interpretación más aceptada⁶ el edificio volcánico estuvo formado por un estrato volcán calco alcalino que se elevaría entre los 2.500 y los 3.000 m.s.n.m.. Este edificio sufrió un colapso volcanotectónico de su parte central, formándose una estructura caldérica más o menos circular que se supone con varios centenares de metros de profundidad en su interior. Posteriormente, en el interior de esta caldera, se formaría el actual edificio del Boquerón como mínimo en dos fases de formación de explosiones y colapsos, según parece evidenciar una terraza que se observa en la parte interna del cráter del Boquerón a unos 1620 m.s.n.m. aunque los episodios de formación pueden haber sido más.

Todo este edificio parece controlado por tres sistemas de fracturas:

- WNW-ESE: paralela al eje volcánico actual
- NW-SE NNW-SSE: esta alineación corta el Boquerón y coincide con el alineamiento de El Playón – los Chintos – la zona de emisión de lavas de la erupción de 1917- el Boqueroncito – la Joya – Puerta de la Laguna
- NE-SW : Representado por una fractura que se extiende del extremo septentrional del Picacho hacia el cráter del Boquerón

La hipótesis del colapso del antiguo edificio volcánico se sustenta en la discontinuidad morfológica que se observa desde la base interna del Picacho, aproximadamente sobre los 1.300 m.s.n.m., y que se extiende por el flanco norte hasta el Jabalí separando una parte inferior, con pendientes próximas a los 15°, de una parte superior con pendientes entre los 5 y los 7°. Por otro lado en el Picacho se observan dos porciones de fracturas anulares concéntricas que pueden ser debidas a un mecanismo de colapso según fallas anulares en gradas⁵. De esta forma, El Picacho y el Jabalí constituirían los restos del antiguo volcán, con forma de cono.

La siguiente tabla muestra una recopilación de los eventos históricos ocurridos en el volcán de San Salvador. Se indican los años de las erupciones, el autor que da la noticia de éstas y una breve descripción del evento (ver tabla 2).

⁵ Consorcio Salvador e. **Informe Vulcanológico. Apéndices I, II, III y IV.** ITALTÈKNIA e ITALCONSULT para El programa de reconstrucción de la Direzione Generale per la Cooperazione allo Sviluppo del Ministero degli Affari Esteri de la Repubblica Italiana

⁶ Williams H. & Meyer Abich, H.(1953) **El origen del lago de Ilopango.** Comisión del Instituto Tropical de Investigaciones Científicas, 2, nº 1 San Salvador

Tabla 2: Erupciones históricas del Volcán de San Salvador

AÑO	AUTOR	DESCRIPCIÓN
1575	García de Palacio	Fumarola en el cráter de El boquerón y en las paredes del cráter. Lavas y cenizas "de fresco aspecto" en la zona de El Playón
9-1659 11-1658	Montessus de Ballore Lardé y Larin	Gran erupción en El Playón, precedida por terremotos que destruyeron San Salvador y obligaron a trasladar la antigua villa de Nejapa. La colada de lava se extendió por unos 10 km ²
1671	Ximenez (1672)	Erupción explosiva (Boquerón ?) con emisión de cenizas (equivalente a la mitad del volumen del volcán (!?)). Fue precedida del terremoto que destruyó San Salvador y se llamó de San Bartolomé
1806	Dolfus y Montserrat (1868) Larde (1917)	Erupción atribuida al cerro de Nejapa. Sapper (1913) sugiere que se trate de nuevo del Playón. No se han definido los materiales de esta erupción
1617	Larde (1956)	Erupción de tipo estromboliano precedida de dos fuertes sacudidas que causaron daños en San Salvador, Apopa, Nejapa, etc.. Emisión de lavas a partir de las bocas denominadas los Boqueroncitos (de 7 a 12 Meyer Abich 1956)

Las fechas de los eventos parecen no seguir un patrón fijo, estando los dos eventos consecutivos más próximos separados por doce años y los dos eventos consecutivos más alejados separados por 135 años. La media de estas fechas nos indica un periodo de 85'5 años entre dos erupciones sucesivas. Según esta media la siguiente erupción del volcán debería tener lugar este año, pero pudiendo variar alrededor de 50 años (85 ± 50), que es la diferencia entre la media obtenida y el periodo entre dos erupciones consecutivas más largo. Según estos datos, la siguiente erupción para el volcán de San Salvador cabría esperararla desde ahora hasta como mínimo el 2052, aunque podría llegar más tarde aún. Estos datos deben manejarse con precaución pues en realidad no disponemos de suficientes datos para observar un patrón en el comportamiento del volcán que, además, seguramente puede variar en el tiempo.

La última erupción del Boquerón comenzó un 6 de junio de 1917 a las 15:55 h con un temblor de grado VI en la escala de Mercalli. Casi cuatro horas más tarde se sintió otro temblor de igual intensidad y a las 20:11 h de ese mismo día una espesa columna de humo se levantó verticalmente acompañada de un continuo lanzamiento de materiales incandescentes. En la parte nordoccidental del volcán se abrió una fractura de dirección NNW-SSE a partir de la cual se produjo una efusión de lavas tipo AA en dirección norte. Se identificaron entre 7 y 12 bocas principales de emisión, situadas entre los 1350 y los 1410 m.s.n.m. También entraron en actividad los conos de los Chintos, que ya existían con anterioridad y que se encuentran situados sobre la misma zona de fractura a una cota topográfica de entre los 700 y 800 m.s.n.m.

La actividad del volcán, que duró hasta mediados de junio, se define como estromboliana. Las coladas de lava fluyeron en dirección norte hasta obstruir la vía férrea de Ciudad Arce a Quezaltepeque durante la noche del siete de junio, desviándose posteriormente hacia el oeste, hasta llegar a 3 km de la laguna de Chanmico donde se detuvo el día once del mismo mes. La superficie de la colada alcanza los 12 km².

Entre tanto en el cráter del Boquerón, el lago que allí existía entró en ebullición para el 9 de junio. Veinte días más tarde el lago se había evaporado completamente apareciendo en el fondo del cráter

un pequeño cono de escorias, el Boqueroncito. Este cono debe su formación a la actividad estromboliana que expulsó escorias, lapilli y cenizas.

La tendencia para el volcán de San Salvador parece indicar una evolución o un desarrollo de su actividad hacia el NW. Esta tendencia se conduce a través de un sistema de fallas de dirección NW-SE que está conectado con el sistema NNW-SSE que enlaza el Boquerón con la Puerta de la Laguna. Probablemente la siguiente erupción ocurra obedeciendo el mismo patrón que la de 1917, pero cabe la probabilidad que ocurra directamente en el cráter del Boquerón o que se desplace hacia el SSE, sobre este sistema de fracturas antes mencionado. Aunque la probabilidad de erupción en este último sector sea menor, el riesgo que representa es mucho mayor, por cuanto afectaría a una zona industrial y habitacional del Gran San Salvador.

Análisis del Mapa topográfico

Para el análisis topográfico de la zona oriental de la ladera del Picacho hemos recurrido a los mapas en escala 1:25.000 del Instituto Geográfico Nacional números 2357 III SE y 2357 II SW, denominados respectivamente, Nueva San Salvador y San Salvador. La primera de estas hojas data de marzo de 1980 a partir de fotografías de 1978, mientras que la segunda data de noviembre de 1988 basada en fotografías de 1986.

Estos datos son importantes porque nos dan una idea de la divergencia de la representación cartográfica con la realidad actual. Debido al continuo e intenso desarrollo urbano, cuanto más antiguo sea el mapa mayor será esta divergencia y, en el caso de San Salvador, estos catorce años han sido significativamente importantes en cuanto a desarrollo urbano y de infraestructuras, pero también al crecimiento de las áreas marginales. Para el análisis de la peligrosidad de los deslizamientos en la ladera oriental del Picacho es muy importante poder disponer de la cartografía más actualizada, con una representación detallada de la zona urbana (zonas residenciales, marginales, industriales, etc....) así como de las proyecciones de expansión de esta área urbana, para poder realizar la estimación de la influencia del desarrollo de los procesos naturales evaluados sobre las zonas urbanizadas.

Sobre el mapa topográfico se ha trazado un mapa geomorfológico en el que se han indicado la red de drenaje y el sistema de parte aguas. Con esta representación pretendemos destacar, en forma esquematizada, la relación existente entre la morfología de la propia red de drenaje y la estructura tectónica subyacente bajo la cobertera cuaternaria y la ciudad.

El modelado de la red de drenaje puede estar controlado por factores morfológicos (disposición geométrica de las capas de materiales, relación entre estas, etc.) o estructurales (fallas, pliegues, etc.). En el caso de las quebradas que descienden del complejo del volcán de San Salvador obedecen principalmente a factores morfológicos, aunque también existen algunos accidentes tectónicos influyentes en la distribución de la red.

Factores morfológicos

La forma de la red de drenaje corresponde a una red compleja, en la que se suman las estructuras radiales correspondientes al Picacho y al Boquerón. La primera corresponde al relicto del antiguo edificio volcánico de San Salvador, del que el Picacho es testimonio. Esta red está más encajada en los sedimentos de la ladera, lo que indica una evolución mayor, puesto que los materiales, en cuanto a composición y compactación, son similares a los del Boquerón. Aunque la red es radial, como en casi todos los edificios volcánicos, existe una tendencia del drenaje a una disposición subparalela que indica unos materiales de baja resistencia a la erosión.

Para el Boquerón la red de drenaje tiene una disposición absolutamente radial. En la parte alta la sistematización de la red es precaria, siendo la separación entre los diferentes valles escasa o, en algunos casos prácticamente inexistente. Esto denota un estado primario de evolución del sistema de drenaje.

Estos aspectos de la red de drenaje la caracterizan como una red radial típica de cuerpos volcánicos que constituyen un relieve positivo aislado, permitiendo la distribución y el desarrollo de la red de drenaje en los 360° de su circunferencia. La precaria instalación de la red o la escasa definición de esta en las laderas del volcán es debida a la contemporaneidad del conjunto, a su reciente instalación en términos geológicos.

Factores estructurales

Debido a la cobertura vegetal y al recubrimiento de los últimos episodios volcánicos y de los materiales sedimentarios de ladera que se encuentran en el valle de San Salvador es muy difícil tener una observación directa de las principales estructuras tectónicas que afectan esta área. Estas estructuras deben ser observadas por medios indirectos, a través de fotografías aéreas, del mapa topográfico y de investigaciones de campo. Las observaciones presentadas en este apartado son estimaciones preliminares, basadas en observaciones personales, el análisis de fotos aéreas y del mapa topográfico, pero ameritan ser revisadas con estudios de mayor detalle

El drenaje descendiente de la ladera oriental del Boquerón enfrenta la estructura relicto del antiguo cono del complejo volcánico de San Salvador, representada por el Picacho, desviándose hacia el sur o hacia el norte. Este accidente geográfico se asocia con una ladera occidental del Picacho fuertemente escarpada con desniveles de 250 m con pendientes del 100% y probablemente sea debida al escarpe producido por las fallas que dieron lugar al colapso del antiguo edificio. Esta falla tiene una orientación N – S hasta la zona sur del alto El Castillo (1270'28 m) en al que la quebrada las Lajas cruza este accidente con rumbo sudeste para formar más adelante, al norte del Escalón, el Arenal Tutunichapa.

Algo más al norte de este arenal destacan dos alineaciones con direcciones N – S y NW – SE formadas por sendos parte aguas y que probablemente también estén dibujando dos fallas con las mismas direcciones que los parte aguas. El primero de ellos, el más meridional, separa al norte la quebrada el Muerto que se continúa en la quebrada los Pinos, de las quebradas que constituyen la cabecera del Arenal de Mejicanos. Este parte aguas se destaca principalmente porque mientras en su ladera sur pueden contarse hasta siete quebradas, en la ladera norte sólo hay una que con un continuo rumbo este desciende paralela al parte aguas.

El segundo parte aguas representa un caso casi simétrico al anterior, por cuanto la quebrada que corre paralela a la divisoria es la del costado sur, mientras que en el costado norte pueden contarse hasta diez quebradas. Esta quebrada del lado sur del parte aguas prácticamente nace en la cima del Picacho y corresponde al la quebrada las Lajas, que aguas abajo de la Finca Pascuita se une a la quebrada los Pinos que antes mencionábamos para formar el Arenal de Mejicanos.

Las principales quebradas englobadas entre estas dos son las que descienden directamente de la parte más alta del Picacho y, poseen todas, la característica común de tener una franja de elevada pendiente y fuerte encajonamiento de los cauces en su curso medio. Esta franja se sitúa entre los 1050 m y los 1450 m en la parte central (la Quebradona) y entre 1100 m y los 1350 m en la parte sur (el Muerto) y en la parte norte (las Lajas) entre los 1500 m y los 1300 m donde la quebrada cambia el rumbo a SE manteniéndose encajada hasta los 1050 m.

La quebrada Antonio y la quebrada Medianera, en el extremo noroeste del mapa, tienen una clara dirección NW – SE opuesta en casi 120° a la dirección dominante de la mayoría de quebradas en esa zona. Es más, estas dos quebradas recogen el agua drenada por numerosas quebradas descendientes

del propio Picacho, en el caso de la quebrada Antonio. La prolongación imaginaria de los tributarios de la quebrada Antonio dibujan casi los mismos valles de los tributarios de la quebrada Mediona. Este corte seco y cambio brusco en la dirección de las quebradas obedece a la presencia de una falla de dirección NW – SE para cada uno de los casos.

Existen aún otras evidencias como estas que caracterizan un sistema de fallas sobre el cual la red de drenaje se ha instalado con unas direcciones preferentes, normalmente dominadas por estas fallas. Estas direcciones corresponden a las direcciones tectónicas predominantes en el país⁷ y relacionadas con la cadena volcánica que son, básicamente, NW – SE y E – W, y, excepcionalmente, para el caso del Boquerón hayamos una estructura N – S debida al colapso del antiguo edificio de San Salvador. Sólo en las partes más elevadas, merced a las fuertes pendientes, la morfología volcánica define el sistema de drenaje.

La red urbana

En el mapa se ha sombreado el área correspondiente a la zona urbanizada (en función de la fecha de edición del mapa!). En el área urbana no se han marcado más que los principales drenajes, aquellos que aún actúan como quebradas naturales, en parte para señalar el impacto de la urbe sobre el drenaje.

Destacamos el gran número de pequeñas quebradas que llegan hasta la zona urbanizada sobre todo en la parte de Miralvalle y Escalón. Estas quebradas recogen una cantidad importante de escorrentía que se conduce a través de las calles y del sistema de alcantarillas que a su vez debe copiar el sistema de drenaje natural.

Muchas calles, sobre todo en la parte alta de la ciudad, han aprovechado las quebradas o las lomas de los parte aguas para realizar su trazado favoreciendo la canalización de las aguas de forma rápida y preferente y disminuyendo la capacidad de infiltración. Este hecho, sumado a toda la cantidad de agua llovida sobre superficie artificialmente impermeabilizada (techos y calles asfaltadas principalmente), produce un caudal excedente en las quebradas donde desembocan los colectores de agua lluvia, un caudal mayor que el normal para las intensidades de lluvia precipitadas.

Este caudal mayor que las intensidades reales ocasiona rápidas crecidas desencadenantes de inundaciones en puntos concretos de la red fluvial⁸. Estas crecidas también son favorecidas, en parte, por el mal manejo de las quebradas, que se han convertido en auténticos vertederos de basuras, y en parte, por algunas obras de infraestructura que han quedado obsoletas debido a los nuevos caudales de escorrentía que se concentran en las quebradas y a la parte sólida que estos caudales arrastran. En algunos casos se suman a estas causas las obras de infraestructura realizadas que han modificado la sección de la quebrada.

Reconocimiento de campo

Desde la ciudad de San Salvador se han realizado diferentes aproximaciones panorámicas al volcán (ver fotos). La actual cobertura vegetal prácticamente no deja ver ningún vestigio de las antiguas cicatrices ni de las obras de contención que se acometieron como medidas de mitigación y seguridad después del evento de 1982. Para tener una impresión más exacta del estado actual de la zona se realizó una visita de campo con los ingenieros del SNET Manuel Díaz y Carlos Demetrio Escobar.

⁷ Consorcio Salvador e. **Informe Vulcanológico. Apéndices I, II, III y IV.** ITALTÈKNIA e ITALCONSULT para El programa de reconstrucción de la Direzione Generale per la Cooperazione allo Sviluppo del Ministero degli Affari Esteri de la Repubblica Italiana

⁸ Rubio, J (2000) **Recuperación ambiental de la cuenca alta del río Acelhuate.** CEPRODE (Inédito)

En esta visita se ascendió hasta la cumbre del Picacho, se recorrieron las instalaciones de transmisión radiofónica allí instaladas y se descendió por la cicatriz del deslizamiento de 1982. Se accedió a la quebrada en varios puntos para comprobar el estado de la misma y las características hidráulicas y geológicas

Parte del objetivo de esta visita era reconocer in situ la zona de la cicatriz del deslizamiento de 1982 y su posterior evolución. Aunque la vegetación se encuentra en esta zona densamente desarrollada aún se puede observar una variación en el área de deslizamiento respecto al bosque del resto de la ladera. En este último se encuentran árboles de gran porte entre otros más pequeños lo que produce una cobertura vegetal en el estrato superior que impide, en cierto modo, el paso de la luz del sol hasta el suelo, limitando así el crecimiento de otras especies en el bosque bajo. En la zona de la quebrada y de la cabecera del deslizamiento, la vegetación es más exuberante, existiendo una mayor dispersión de plantas en los diferentes estratos vegetales. Entre estas plantas se observaron los pinos que se replantaron como medida de protección contra la erosión en los márgenes de la quebrada y de la cicatriz. Estos árboles se han adaptado perfectamente al medio y crecen con un aspecto saludable por encima de la maleza.

Por otro lado, también como objetivo de la visita, se planteó el inspeccionar las obras de mitigación y protección que se realizaron para verificar el estado en que se encuentran. Estas obras consisten en muros de gaviones que se colocaron de forma oblicua a la dirección de la quebrada con la intención de contener la masa de tierra de la ladera colindante con la zona de deslizamiento y, a la vez, proporcionar un terracedo para escalonar la ladera y reducir la pendiente que permitiera la labor de reforestación y facilitara la infiltración de las aguas de escorrentía disminuyendo así el volumen y la velocidad de estas.

Estos gaviones se encuentran en la actualidad completamente absorbidos por el bosque por lo que no pudimos observar directamente el estado de los mismos. Sin embargo, esta asimilación por parte del bosque de las medidas de mitigación nos indican por un lado la capacidad de regeneración del bosque y por otro la perfecta adecuación de las medidas implementadas al entorno. En principio este hecho parecería afirmar que las medidas implementadas han conseguido su objetivo, pero debemos ser cautelosos. El gavión está constituido por una malla metálica en forma de jaula, y esta malla está sometida a las inclemencias del tiempo, por lo que puede deteriorarse y dejar de cumplir su misión, permitiendo la rotura de la gavia y el desprendimiento de los bloques que la forman. Por otro lado, en condiciones de inestabilidad (suelo saturado en agua, fuertes lluvias, temblores...) el plano de rotura del suelo o de la cicatriz puede pasar por debajo de estas estructuras de contención. Este caso implicaría el deslizamiento de una gran masa de la parte alta del Picacho.

Por último durante la visita de campo se reconoció el estado de la quebrada aguas abajo del deslizamiento, realizando un corto recorrido por el cauce de la misma. En su mayor parte la quebrada está invadida por la vegetación, habiéndose encontrado algún árbol con varios años de crecimiento, lo que indica la no ocurrencia de flujos durante este tiempo. La quebrada es en algunos tramos poco definida, permitiendo un desbordamiento de los flujos, pero en otras partes, coincidiendo con las coladas de lava del Picacho, la quebrada se presenta angosta, excavada entre las lavas y con algunos saltos de importancia variable. En estos tramos angostos los flujos o la escorrentía normal, aumentan de velocidad debido al estrechamiento del cauce. Al ser el cauce en su mayor parte constituido por lavas de composición basáltica o basalto – andesítica, su resistencia a la erosión es mayor.

Este es el escenario por el que corren los flujos, erosionando en las partes menos competentes y acelerando su velocidad en las zonas en las que atraviesa coladas de lava. Estos flujos se transportan por toda la quebrada debido a la elevada pendiente, hasta llegar a las partes bajas en las que se ha desarrollado una expansión urbana, en la mayor parte no planificada. Esta expansión ha crecido muchas veces utilizando las propias quebradas como vías de acceso, convirtiéndose con el paso del tiempo en calles. Estas colonias que han prosperado en la zona incluso con el reciente antecedente de

Montebello, serán las primeras en detener el impacto de un posible flujo de lodo y escombros, es decir, serán las primeras en sufrir el embate de su energía. El área que pueden cubrir estos flujos ha sido calculada, en función de varios modelos según los volúmenes de material involucrado, en el reporte de archivo abierto 01-366⁹ del servicio geológico de los Estados Unidos.

Este reporte cuantifica un probabilidad de ocurrencia de lahares de 300.000 metros cúbicos o menos de 1 en 100 o incluso de hasta 1 en 10. Señala además, que dentro de los 10 kilómetros alrededor del volcán los lahares se producen demasiado rápido como para poder activar sistemas de alarma efectivos. Estos dos puntos son especialmente preocupantes, ya que dejan a la mayor parte de la ciudad de San Salvador y su área metropolitana dentro de la zona de influencia de estos fenómenos.

Los lahares se conducen a través de las quebradas disminuyendo su efecto a medida que nos alejamos del volcán, área fuente de los materiales movilizados, y a medida que nos separamos del eje de la quebrada y nos levantamos del fondo del valle. Aún así, alrededor de las quebradas que cruzan San Salvador se ha desarrollado un gran número de colonias y comunidades, a menudo de muy escasos recursos, que representan un elevado porcentaje de población que se encuentra en zonas de alto riesgo.

Para mitigar el efecto que pudieran causar estos eventos en la población es necesario continuar estudiando la dinámica del volcán, su historia eruptiva, monitorear aquellos parámetros que nos puedan descubrir indicios de su próxima evolución tanto en función del tipo de erupción que tendrá el volcán, como en función de los eventos hidrometeorológicos que ocurran en el país. En cuanto a la población situada en estas zonas de riesgo deben ser adecuadamente informadas de esta condición, preparadas a través de campañas de educación pública, preparadas con planes de emergencia en los que se ensayen estrategias de comunicación y advertencia del peligro entre los organismos oficiales encargados del monitoreo y vigilancia (SNET, MARN,) y las instituciones encargadas de la seguridad (PNC, CAM) y las emergencias (COEN) con los comités de emergencia comunales o de barrio. Deberán ensayarse rutas de evacuación, zonas refugio, que estarán previamente identificadas y cartografiadas, de manera que todos las puedan conocer con suficiente anterioridad.

4. CONCLUSIONES

De todo lo desarrollado hasta aquí pueden deducirse ya algunas conclusiones sobre el estado actual de la ladera occidental del volcán de San Salvador y desde nuestro punto de vista, de las acciones necesarias a emprender para mejorar la condición de vida de los capitalinos en cuanto a las amenazas geológicas que puedan provenir del volcán.

Estas conclusiones las presentamos, en función de cómo se ha desarrollado el presente estudio, en cuatro apartados:

- Riesgo, en el que se resumen los datos recogidos de la prensa
- Morfológicos, en la que se describen los aspectos relacionados con la estructura morfológica del drenaje del volcán de San Salvador
- Vulcanismo, en el que se hace referencia a la conclusiones relacionadas con la ocurrencia de fenómenos volcánicos
- Hidrometeorológicos, en la cual se describen las conclusiones debidas a eventos hidrometeorológicos y su relación con el desarrolllo del área urbana y
- Mitigación, en la que se concluyen y proponen medidas de mitigación tanto física como social, así como sobre aquellas medidas implementadas con anterioridad.

⁹ Major, J.J., et al. (2001) **Riesgos volcánicos en la región de San Salvador, El Salvador** Departamento del Interior de los Estados Unidos, Investigación geológica de los Estados Unidos. Reporte de archivo abierto 01-366. Vancouver, Washington

Riesgo

- El riesgo más recurrente para el valle de San Salvador, en función de las noticias publicadas en La Prensa Gráfica de 1915 a 1990, son los sismos, seguidos por las inundaciones. Tanto los primeros como las últimas ocasionan deslizamientos de tierras y hundimientos que se han reportado en las faldas del volcán y en el entramado urbano de las quebradas que atraviesan la ciudad.
- El crecimiento desordenado de la urbe ha empujado cada vez a mayor número de familias a ubicarse en lugares de alto riesgo, a menudo de forma acinada. Este hecho ha provocado una mayor incidencia de los fenómenos naturales sobre las precarias formas de vida de estas familias.
- Estas condiciones arriba descritas y la mayor sensibilización por parte de la población en general sobre temas medio ambientales produce un mayor número de noticias sobre desastres, riesgos eventos naturales.

Morfológicas

- La red de drenaje corresponde a un sistema complejo en el que se suman las estructuras radiales provenientes del Picacho con las provenientes de el Boquerón. La red radial de el Picacho tiende a una disposición subparalela y más encajada que la de el Boquerón.
- En las partes altas la red de drenaje está dominada por la morfología volcánica.
- En las laderas del Picacho se observa el control estructural de la red de drenaje según el sistema de fracturas de dirección NW-SE y E-W. Estas direcciones corresponden a uno de las principales familias de fallas presentes en el país y que afectan a la cadena volcánica. Excepcionalmente, para el caso del Boquerón, hayamos una estructura N – S controlando el drenaje, debida al colapso del antiguo edificio de San Salvador.

Vulcanismo

- El volcán de San Salvador se ha mantenido activo durante los últimos 70.000 años. En este tiempo las erupciones han sido a través de su cráter central o de fisuras o conos adventicios situados en un radio de hasta 10 km. No pueden descartarse la ocurrencia de eventos violentos dentro de estas manifestaciones.
- En el volcán de San Salvador se encuentran depósitos de lahares de hasta cientos de miles de metros cúbicos. Estos depósitos pueden deber su origen tanto a la actividad volcánica del edificio, como a eventos hidrometeorológicos y/o sísmicos.
- La siguiente erupción para el volcán de San Salvador puede ocurrir desde hoy hasta el 2052.
- Probablemente la próxima erupción ocurra sobre el sistema de fallas NW-SE y NNW-SSE, disminuyendo la probabilidad de ocurrencia hacia el SSE, pero aumentando el riesgo de la misma (debido al aumento del valor de los daños que causaría en el Gran San Salvador).

Hidrometeorología

- El aumento de la presión ejercido por la urbe sobre el entorno y más concretamente en las faldas del volcán, provoca un aumento del efecto de la erosión sobre las partes altas de las quebradas, con fuertes desniveles, incrementando la probabilidad de ocurrencia de inestabilidades de ladera y la incidencia de éstas sobre la población e incrementando a su vez, la probabilidad de ocurrencia de flujos de escombros que lleguen a las zonas urbanas.
- La tendencia climática, que favorece la formación de fenómenos de elvada intensidad, junto con el aumento de la presión urbana sobre la ladera del volcán, hacen necesario el redimensionamiento de las obras de paso sobre las quebradas, de las obras de drenaje, la construcción de medidas dispersoras de la energía de los posibles flujos y, sobre todo, la revisión de la normativa urbana y la vigilancia y observación de su cumplimiento.
- La expansión urbana se traduce en un aumento de las áreas impermeabilizadas que provoca un incremento de la escorrentía superficial que se vierte en las quebradas, dando lugar a mayores caudales para lluvias de intensidades normales, provocando rápidas crecidas de las quebradas y recurrentes inundaciones.

- El mal manejo de las quebradas y la falta de una visión de conjunto como una micro cuenca dentro de la cual crece el Gran San Salvador, ha dado lugar a un crecimiento desordenado, a la ocupación de cauces y zonas de alta probabilidad de inundación, colocando a la población en zonas de alto riesgo

Mitigación

- Las medidas de mitigación implementadas después del flujo de 1982 parecen haberse adaptado perfectamente a las condiciones cumpliendo con su cometido.
- El crecimiento posterior del área urbana en el pie de la ladera y hacia cotas superiores amerita de obras de disipación de energía y de infiltración en la parte baja de las quebradas, así como de la revisión del sistema de drenaje urbano.
- La reforestación y el correcto manejo de las masas forestales como parte de las obras de mitigación vuelve a evidenciarse como un elemento fundamental para el control de la erosión.
- La elevada probabilidad de ocurrencia de flujos de lodo o lahares por un lado y sus elevadas velocidades que imposibilitan los sistemas de alerta temprana descubren áreas de elevado riesgo a lo largo de las quebradas de la parte alta de San Salvador.
- Para poder prevenir la ocurrencia de estos fenómenos es necesario invertir en estudios de:
 - Monitoreo volcánico (emanación de gases, temperatura del agua en manantiales, deformación...)
 - Monitoreo meteorológico (precipitaciones, intensidades, vientos...)
 - Monitoreo sísmico
 - Monitoreo hidrológico (caudales medios y caudales pico aforados en diferentes circunstancias y el registro periódico de otros parámetros)

Además es necesario realizar las siguientes capacitaciones:

- A técnicos municipales para la correcta gestión del entorno y la proposición de normativas municipales para la gestión de las quebradas en función de las amenazas detectadas.
- A los vecinos de las áreas en alto riesgo para favorecer la organización vecinal, la formación de comités de gestión local del riesgo, etc.
- Para la sociabilización de las amenazas que afectan a la población.
- Para la realización de mapas de evacuación y su divulgación, realizando simulacros con todos los actores involucrados (PNC, Bomberos, Cruz Roja, Comandos de Salvamento, etc.)
- Para el ensayo de estrategias de comunicación entre la población afectada directamente y las instituciones encargadas de llevar a cabo los monitoreos, las instituciones de gobierno local y las encargadas de decretar la emergencia.
- Las medidas de mitigación (planes de contingencia, preparación de la población) y, sobre todo, las medidas de mitigación recomendadas por las instituciones competentes, deben ser apoyadas con decisión a través de políticas y leyes traducidas en reglamentos y mecanismos para llevarlas a cabo, en consenso con expertos, políticos y la población civil.

5. RECOMENDACIONES

Este informe nace de la inquietud de las instituciones responsables en la gestión del medio natural y, por tanto, en cuanto a la naturaleza de los eventos que desencadena los desastres socioeconómicos, de la gestión del riesgo, por conocer el estado en que se encuentra la ladera occidental del Picacho respecto a las posibles amenazas que pudiere representar para el Gran San Salvador, sobre todo después de los terremotos del 2001 que descubrieron tantas vulnerabilidades en las estructuras sociales de El Salvador. En este sentido las recomendaciones más abajo descritas pretenden sugerir caminos para afrontar el reto de reducir estas vulnerabilidades, de conocer con mayor detalle las

amenazas geológicas que pudieran ocurrir con la finalidad de procurar una gestión ordenada del riesgo.

Las recomendaciones abajo descritas están agrupadas en tres apartados:

- Mitigación, en los que se proponen medidas para la reducción del riesgo, actuando sobre todo en aquellos elementos que producen una alta vulnerabilidad.
- Volcanismo, en el que se refiere a los posibles eventos volcánicos que pudieran afectar al Gran San Salvador
- Hidrometeorológicos, en los que se propone medidas para atender a los eventos de esta característica

Mitigación

Dentro de este apartado deberían incluirse las conclusiones agrupadas bajo este mismo epígrafe, pues en su conjunto hacen referencia a las medidas de mitigación necesarias para el manejo del riesgo en el Gran San Salvador. Especial énfasis queremos hacer sobre las capacitaciones y los estudios a realizar, porque, como explicamos más adelante, del mejor conocimiento de las amenazas geológicas que nos afectan (Caracterización) por parte de las instituciones responsables de velar por la seguridad ciudadana en el amplio sentido de la palabra, y cuanto mejor conozca la población los peligros bajo los que desarrolla sus actividades, cuando mayor sea esta conciencia social, más preparación demandará la población. Para llegar a ello es necesario buenos canales de comunicación de estas instituciones y buenas campañas de divulgación.

Para reducir la vulnerabilidad institucional es fundamental apostar por la divulgación, el hacer público, tanto las medidas establecidas como las políticas desarrolladas para hacer frente a los riesgos y, sobre todo, dar a conocer estos riesgos. En un desarrollo sostenible no sólo las instituciones encargadas de la gestión del riesgo son las conocedoras y responsables de la aplicación de políticas acertadas, sino que todas las instituciones gubernamentales están responsabilizadas de aplicar sus políticas con un enfoque de desarrollo sostenible, lo que quiere decir, especialmente en lugares con elevados índices de riesgo, aplicar sus políticas desarrolladas con enfoque de Gestión del Riesgo.

En realidad aquellas instituciones que más afectadas se ven por este criterio son las que velan por el medio ambiente, la agricultura, la construcción de infraestructuras y viviendas y la explotación de los recursos naturales.

Esta necesidad debe ser atendida para reducir la vulnerabilidad institucional y educacional. Esta reducción se consigue con capacitaciones en todos los niveles. Especial hincapié debe realizarse en los mandos medios de estas instituciones, pues normalmente reciben o tiene contacto directo con lo externo y, en cierto modo, pueden influir en los círculos superiores. Pero también estos deben recibir una reeducación, pues son los que dictan las normativas según las cuales se regirán los demás.

Sea cual sea el tipo de amenaza que afecta a la población, ésta está en el derecho de conocerla, de conocer su alcance y que están haciendo las instituciones locales o nacionales para remediar la situación, en caso de ser posible. Claro, esto indica un nivel de organización social elevado y, a su vez, un elevado nivel de corresponsabilidad de las instituciones locales y nacionales.

Para lograr el primer punto deben favorecerse el asociacionismo local, la organización de la población, sea por comunidades, barrios, colonias, en asociaciones de vecinos, de afectados, etc. Pero para formar a estas asociaciones y no sembrar el pánico frente a la descripción de los eventos máximos alcanzables por tal o cual amenaza, deben favorecerse la creación de Comités de Gestión de Riesgo (los mal llamados comités de emergencia, pues deben preparar la emergencia, actuar durante ésta y después de la misma e iniciar y continuar con los procesos de reconstrucción si fuere necesario) y de Brigadas de Emergencia, deben reconocer las vías de evacuación y las zonas de refugio, organizar la evacuación y mantener los refugios equipados.

Cuando las amenazas son predecibles y permiten una alarma con suficiente tiempo todo lo descrito más arriba es adecuado y conveniente. En el caso de lahares la inmediatez del área fuente con las zonas pobladas en el volcán de San Salvador impide la activación de alertas, o hasta el momento no se ha descubierto un sistema de alarma lo suficientemente sencillo y rápido como para permitir la evacuación preventiva. Sistemas menos rápidos podrían ser efectivos activando alarmas con umbrales por debajo de lo estrictamente necesario. De ello resultaría un número demasiado elevado de alertas falsas que acabarían por desanimar a la población, perdiendo entonces, su efecto de aviso urgente.

Volcanismo

Parece urgente la realización de al menos un plan de contingencia contra la posible entrada en erupción del volcán de San Salvador. Este plan debe contemplar desde los episodios más “inofensivos” (pequeñas lluvias de cenizas) hasta la probabilidad de erupciones violentas, incluyendo el colapso parcial o total del actual edificio. Aunque esto pudiera parecer exageradamente alarmista, el volcán de San Salvador ya colapsó, al menos una vez, formando una caldera de grandes dimensiones, por lo que cabría esperar de él un comportamiento similar en futuras erupciones. En tal caso se deben identificar las áreas de evacuación del Área Metropolitana y para tanta gente, los campamentos de acogida y refugiados, los responsables de todo el equipamiento y de la logística.

Estos planes, sino al detalle de la logística estratégica, si deben ser difundidos entre la población desde las escuelas en las que será estudiado y analizado por los alumnos, hasta en medios de comunicación de gran difusión. De nada servirán todos estos estudios y planificaciones si no son del conocimiento popular.

En función del tipo de erupción pueden proponerse diferentes medidas de protección, dos ejemplos: contra la caída de piroclastos, una vía principal, de interés nacional, como el Anillo Periférico, debería tener estructuras de contención a modo de túneles para evitar el colapso de la vía y permitir una circulación lo más fluida posible (a modo de los túneles artificiales y muros de contención de aludes en los Alpes). Contra coladas de lava, pueden construirse diques naturales o mixtos, naturales y artificiales para desviar su dirección. En el caso de San Salvador esta solución parece poco viable, por lo invadida que está la falda del volcán por la urbanización, lo que hace muy cercana la ciudad a posibles centros de emisión, aunque éstos “últimamente” se han localizado en el sector NW del volcán.

Hay que hacer notar, hasta donde nosotros conocemos, que una “gran erupción” del volcán de San Salvador sumiría a prácticamente la mitad de la población del país en un área de alto riesgo, que podría ocasionar el colapso del sistema hospitalario, de las comunicaciones a nivel nacional, del transporte y de los centros productivos del país. Es por ello que señalamos la importancia de un buen conocimiento de la historia eruptiva del volcán para poder establecer la dinámica de su comportamiento en el futuro y, de allí, establecer los planes de contingencia necesarios para hacer frente a las posibles crisis que se presenten.

Ignorar esta realidad pensando “Dios no quiera que ocurra tamaño desastre...” o “esto no ocurrirá hasta dentro de un montón de años” es una irresponsabilidad histórica de consecuencias irreversibles para el progreso y desarrollo de la nación, que ningún país puede permitirse. Mientras tengamos la ocasión de prever un evento debemos actuar para preparar a la población y, en la medida de lo posible, prevenirla del mismo.

Hidrometeorológicas

En cuanto a los lahares, si bien la proximidad no permite la instalación de sistemas de alerta, las obras realizadas en la cicatriz de Montebello parecen adecuadas para, cuanto menos, retardar la ocurrencia de otro fenómeno similar. Es importante mantener la ladera forestada, pero no descuidada, esto quiere decir que el bosque en la zona alta debe ser manejado con cautela, en vistas a la reducción de la escorrentía pero sin sobrecargar excesivamente los pobres suelos. Este manejo adecuado del bosque permitirá, por otra parte, la obtención de algún beneficio para los propietarios a través de selvicultura de especies de maderas nobles o de frutales que se adapten a las condiciones de altas pendientes.

Cuando nos referimos a bosque no contemplamos las fincas de café, que con el tiempo y los bajos precios han caído en un semi abandono, con pies demasiado viejos y con especies de sombra no adecuadas para las funciones que buscamos en el bosque. Por otra parte es conveniente para la buena salud de San Salvador mantener una amplia zona verde en sus cercanía, zona que con el tiempo puede ser destinada a parque y que cumplirá la función de pulmón para la ciudad.

La variación de las condiciones naturales del entorno de la ciudad, el cambio de uso del suelo de forestal a urbano, conlleva un aumento de la impermeabilidad del "suelo". Esta nueva condición debería ser tenida en cuenta por los técnicos del MOP a la hora de supervisar obras de infraestructura, pero no con las condiciones actuales, sino con una previsión del crecimiento que estas infraestructuras facilitarán durante su vida útil.

Este cambio en el uso del suelo, como indicábamos más arriba, se ha traducido en una mayor incidencia de los fenómenos hidrometeorológicos sobre la población, que debe ser tenida en cuenta para apoyar las decisiones técnicas con de ordenamiento y gestión del riesgo con leyes prácticas traducidas en reglamentos y mecanismos para llevarlas a cabo en consenso con expertos, políticos y la población civil.

El establecimiento de un sistema de alerta temprana para este fenómenos requiere de un exhaustivo conocimiento de la dinámica de las quebradas. Para conseguir este conocimiento es necesario invertir en estudios de caracterización geológica e hidrogeológica. Aún así es posible que, debido alas condiciones físicas del entorno, no se pueda implementar este sistema. Entonces, un sistema de monitoreo, aunque no proporcione la alerta, puede involucrar a los vecinos, cuando son ellos los que lo manejan bajo la dirección d elas instituciones pertinentes (p.e. el SNET) aumentando el conocimiento de la amenaza que les afecta y, por tanto, el estado de alerta, en condiciones extremas, de la población.

Bibliografía

Bibliografía consultada

Consortio Salvador e. Informe Vulcanológico. Apéndices I, II, III y IV. ITALTÈKNIA e ITALCONSULT para El programa de reconstrucción de la Direzione Generale per la Cooperazione allo Sviluppo del Ministero degli Affari Esteri de la Repubblica Italiana

Diccionari de geologia del Institut d'Estudis Catalans, Barcelona 1997.

IGN Fotografías aéreas de varios vuelos y años CIG

IGN Hoja número 2357 III SE Nueva San Salvador. Escala 1:25.000 Noviembre de 1980 con fotografías tomadas en 1978. MOP

IGN Hoja número 2357 II SW San Salvador. Escala 1:25.000 Noviembre 1988 Restituida en 1987 sobre fotos de 1986. MOP

Kiernan S.H. Ledru, O. (1996): Remedial measures against landslide hazards at the San Salvador volcano, El Salvador Royal Institute of Technology, Stockholm

Major, J.J., et al. (2001) Riesgos volcánicos en la región de San Salvador, El Salvador Departamento del Interior de los Estados Unidos, Investigación geológica de los Estados Unidos. Reporte de archivo abierto 01-366. Vancouver, Washington

Romano, L.E. (1997): Catálogo de desastres, accidentes y ecología (1915 – 1990). CEPRODE

Rubio, J (2000) Recuperación ambiental de la cuenca alta del río Acelhuate. CEPRODE (Inédito)

Williams H. & Meyer Abich, H.(1953) El origen del lago de Ilopango. Comisión del Instituto Tropical de Investigaciones Científicas, 2, n° 1 San Salvador

Bibliografía de referencia

Lardé, J. (1956) El Quezaltepeque: Su erupción y terremoto de junio de 1917. Nueva Edición en Tribuna Libre, Abril 4.

Lardé J. Genesis del volcán el Playón Anales del Museo D.J. Guzmán, Vol I, n°3 San Salvador, pág. 88