

MICROZONIFICACION Y SU APLICACION AL PLANEAMIENTO URBANO PARA LA MITIGACION DE DESASTRES

Julio Kuroiwa (1)

RESUMEN

Se presentan los métodos y técnicas de microzonificación desarrollados en el Perú a partir de 1970, consistentes en una metodología general y 2 métodos simplificados. Se incluye asimismo, su aplicación a la planificación urbana para la mitigación de desastres, dándose énfasis a la reducción de costos de viviendas e incremento de su seguridad, a través, principalmente de la selección de su mejor localización.

En los estudios se incluyen todos los fenómenos potencialmente peligrosos para las obras por construir en el área considerada. Luego ésta es dividida en sectores de diferente peligro. Los sectores más seguros son asignados a los componentes urbanos más importantes, como las áreas residenciales de alta densidad; y los sectores más peligrosos para recreación, parques, y otros usos adecuados.

Como una nueva forma para hacer frente a los desastres naturales se presentan las partes más importantes de las "Normas de Construcción para la Mitigación Integrada de Desastres Naturales", preparadas para la región Grau, donde se incluyen un solo documento todos los desastres naturales que la afectan.

I. INTRODUCCION Y ANTECEDENTES

El año 1985 fue especialmente trágico para la América Latina, la afectaron 3 devastadores desastres naturales: El terremoto de Chile ($M = 7.8$), el 3 de marzo; el terremoto de México ($M = 8.1$), el 19 de septiembre; y el flujo de barro proveniente del volcán Nevado del Ruiz que enterró Armero, Colombia, el 13 de noviembre. Esas calamidades dejaron decenas de miles de víctimas y cuantiosos daños materiales.

Esos desastres naturales fueron especialmente estudiando in situ por el autor (14)* con dos objetivos: 1) Determinar los efectos de microzona, es decir, la influencia que tienen las condiciones naturales de sitio dadas por las características de suelos, geología y topografía en la distribución y gravedad de los daños; y 2) Que si 15 años dedicados al desarrollo de la microzonificación en el Perú, habían valido la pena.

Los resultados de estas investigaciones, fueron muy satisfactorios: 1) Se ratificó que las condiciones naturales del emplazamiento de las obras son determinantes en la distribución y gravedad de los daños; y 2) Que los trabajos iniciados en el Perú en 1970, bajo la dirección del autor, en lo referente al desarrollo de métodos y técnicas de microzonificación, y su aplicación a la planificación urbana para la prevención y mitigación de desastres, estaban por buen camino.

Los terremotos ocurridos en el Perú en 1970, 1974 y 1979 cuyos efectos fueron estudiados por un grupo de investigadores, que incluye al autor (3), (5), (7) habían demostrado claramente que las condiciones locales de suelo y geología, así como la topografía, tenían influencia muy importante en la intensidad de las vibraciones sísmicas y por lo tanto, en la severidad de los daños y su distribución geográfica. Esos sismos, en especial el primero, inspiraron e incentivaron el desarrollo de los estudios de microzonificación en el Perú.

Vale la pena aclarar, que desde su primer planteamiento la metodología desarrollada fue de carácter multidisciplinario, es decir, que se consideraron todos los fenómenos naturales que amenazan el área en estudio, aunque en la década de los 70, se dio énfasis al efecto de los terremotos.

En 1983, el fenómeno de "El Niño" afectó la costa del Norte del Perú. Las torrenciales lluvias que ocurrieron y las inundaciones que provocaron, causaron pérdidas por cerca de mil millones de dólares americanos y el aparato productivo del área quedó destrozado (3) (21). En 1983 el PBI, Producto Bruto Interno del Perú, descendió en 12.4%. Según INADE-Instituto Nacional de Desarrollo, por lo menos la mitad de esa pérdida, se debió a dicho fenómeno.

Los graves daños causados por ese fenómeno y la participación del autor en estudios y proyectos en la América Central (16), (17) y algunos países sudamericanos, y la internacionalización del CISMID, hicieron que se comenzara a incorporar de manera más específica, desastres que no ocurren o son infrecuentes en el Perú, como huracanes y actividad volcánica violenta, pero que son importantes para otros países Latinoamericanos.

En efecto, los daños que causan otros fenómenos naturales potencialmente destructivos, aparte de los sismos, como inundaciones, temporales tropicales y huracanes, estos 2 últimos provocando lluvias torrenciales que finalmente se traducen también en severas inundaciones; las actividades volcánicas, cuya manifestación más peligrosa y de mayor alcance son los flujos de barro provenientes de los deshielos originados por su calentamiento o agua de lluvias, y que se desplazan violentamente y en gran volumen por los valles y quebradas que bajan de los volcanes, también dependen de la topografía, geología y características del suelo del medio, produciéndose efecto de microzona. Como ejemplo puede citarse la destrucción de Armero, Colombia, que se ubicaba justamente a la salida del estrecho cañón del río Lagunillas, que drena el flanco N y NE del volcán Monte del Ruiz, donde se ubica el cráter Arenas que erupcionó el 13 de noviembre de 1985 (14).

De acuerdo a lo expuesto, si se estudia el área de interés, en función, principalmente, de los factores mencionados, es posible determinar el comportamiento de dichos fenómenos, y determinar los sectores de mayor peligro, y dónde éste es mínimo o no existe.

Si se superponen los efectos de cada uno de los fenómenos que ocurren en el área en estudio, se puede determinar de manera compuesta, los sectores peligrosos y seguros. El resultado es el mapa de microzonificación, que es un documento valioso, simple y práctico, para ser aplicado en planificación física de centros urbanos contra

desastres naturales; y además, se logra una comunicación efectiva y clara con los planificadores. Los sectores más seguros son asignados a los componentes urbanos más importantes como las áreas residenciales de alta densidad, para el desarrollo de las actividades económicas de las cuales vive la comunidad, etc. Los sectores más peligrosos no son aptos para el desarrollo urbano y debe dárseles un uso adecuado.

La cronología del desarrollo de métodos y técnicas de microzonificación y su aplicación a la planificación urbana y regional para la prevención y mitigación de desastres en el Perú, en los últimos 20 años es la siguiente:

Primero se desarrolló una metodología general de microzonificación en los primeros años de la década de los años setenta (6) después del terremoto de 1970, que dejó 67,000 víctimas y cuantiosos daños materiales.

A fines de dicha década el método fue simplificado porque el anterior resultó demasiado costoso y sofisticado para un país en vías de desarrollo como el Perú. Otra razón para ello fue la necesidad de una aplicación más amplia, para ser utilizado en la planificación urbana de las pequeñas y medianas poblaciones que son muy numerosas (9).

A comienzos de la década de los años 80, los estudios de microzonificación se aplicaron en la planificación urbana de la nueva Ciudad Constitución en la ceja de selva (12) y en las costas de Lima Metropolitana (11), (13).

En 1981, HABITAT invitó al autor a participar en una reunión con la finalidad de colaborar en la redacción de un documento para ser alcanzado a los gobiernos en cuyos territorios son frecuentes los desastres naturales, en el sentido, que toda expansión urbana o la construcción de obras importantes, se ejecuten después de realizar estudios de microzonificación del emplazamiento (8).

En 1986, a raíz de una invitación del Centro de Naciones Unidas para el Desarrollo Regional (UNCRD, por sus siglas en inglés) a participar en un Seminario Internacional sobre Desarrollo Regional y Desastres realizado en Japón, se empezaron considerar los conceptos de prevención y mitigación de desastres en el proceso de desarrollo regional, utilizando como herramienta básica la microzonificación en áreas prioritarias (15).

En 1987, la OEA-Organización de Estados Americanos, brindó al autor la oportunidad de aplicar sus ideas planteadas sobre desastres y desarrollo regional en el proyecto del Trifinio. Esta es una región de unos 10,000 km² de territorio fronterizo que Guatemala, El Salvador y Honduras están tratando de desarrollar en un esfuerzo de integración mesoamericano. En esa oportunidad además de estudiar todos los fenómenos que amenazan el Trifinio: terremotos, huracanes, vulcanismo, deslizamiento, etc. (16), se redactaron por primera vez recomendaciones integradas para la prevención y mitigación de desastres para una región. En caso de que sean adoptadas por dichos países se convertirán en la primeras "normas integradas" para dicho fin, incluyendo en un solo documento, todos los desastres que la amenazan (17).

En la actualidad está en pleno desarrollo el proyecto "Los Desastres Naturales y el Programa de desarrollo económico y social de la nueva región Grau", que con auspicios de JICA, UNCRD, CONCYTEC y PETROPERU se inició a comienzos de 1989 (19).

La idea es que este estudio modelo para la región Grau sirva como guía para las otras 11 nuevas regiones del Perú. El Perú está en pleno proceso de regionalización. Los 23 departamentos con 1,350,000 km² están siendo transformados en 12 regiones. Las nuevas autoridades han sido recientemente elegidas, y es una buena oportunidad para conseguir apoyo político para este programa.

La suma de los 12 planes regionales, más dispositivos de carácter nacional, constituyen el "Plan Nacional para la Prevención y Mitigación de Desastres" que se continuará implementado en los próximos años y es el principal proyecto del Perú para la Década Internacional para la Reducción de los Desastres Naturales.

2. OBJETIVOS DEL PRESENTE TRABAJO

De acuerdo a las indicaciones de los organizadores del Simposio Internacional sobre Seguridad de Viviendas de Bajo Costo, el contenido del presente trabajo se orienta hacia la aplicación de métodos y técnicas de microzonificación en la planificación urbana y en particular para la mitigación de desastres en viviendas de bajo costo en la América Latina.

Si se considera que lo que se trata es de incrementar la seguridad de las viviendas frente a los desastres naturales, al mismo tiempo que se hacen esfuerzos para reducir los costos de habilitación urbana y de la construcción de viviendas, se puede mencionar que, en general, el desarrollo de la microzonificación y su aplicación se ha efectuado en el Perú con los mismos objetivos.

De acuerdo a lo anterior, en los estudios de microzonificación deben incluirse los desastres naturales más frecuentes y destructivos en la América Latina: terremotos, inundaciones, huracanes, deslizamientos, fallas del suelo, actividad volcánica, tsunamis, etc. Pero en cada localidad en particular deben, previo estudio, considerarse aquellos fenómenos que sean relevantes.

3. METODOLOGIAS DE MICROZONIFICACION

Se presentan a continuación las metodologías de microzonificación desarrolladas y aplicadas a la planificación urbana y regional para la prevención y mitigación de desastres en el Perú en los últimos 20 años. Se presenta la metodología general y 2 métodos simplificados para fines de planificación urbana, cuya aplicación depende del tamaño del centro urbano en estudio.

3.1 METODOLOGIA GENERAL

La metodología general básica, se desarrolló en la década de los años 70, en base inicialmente a los estudios de microzonificación efectuados por la Misión Japonesa presidida por el Dr. R. Morimoto para la ciudad de Chimbote, destruida por el terremoto del 31 de mayo de 1970 (22). El autor formó parte de la contraparte peruana.

La metodología se enriqueció a raíz de que el autor efectuó un estudio de microzonificación para la localización de un reactor nuclear de investigación ubicado cerca a Lima. El profesor Makoto Watabe de la Universidad Metropolitana de Tokio, proporcionó al autor en 1976, el borrador de las normas japonesas para los estudios requeridos para la localización de reactores nucleares. Esto permitió llevar la metodología al estado del arte de mediados de los años 70, siendo la parte más importante, la exigencia en el área de dinámica de suelos.

En los años recientes, a raíz de que el autor ha realizado misiones de estudio en varios países de Centro y Sudamérica por encargo de UNDRRO, OEA y HABITAT; y la internacionalización de las actividades del CISMID, la metodología ha incorporado fenómenos que no ocurren o son infrecuentes en el Perú como huracanes y actividad volcánica, etc., pero que son importantes para los países Centro Americanos y del Norte de Sudamérica.

Para efectuar los estudios de microzonificación del área considerada, en primer lugar se identifican los fenómenos que ocurran a través de información histórica y estudios geológicos preliminares. Luego se estudia cada fenómeno, cuyos resultados se representan mediante el respectivo mapa de amenazas. La suma de dichos mapas que incluyen los fenómenos considerados, permiten confeccionar el plano de microzonificación, donde el área estudiada es dividida en sectores de diferente peligro. Este documento es muy valioso para el planificador urbano, quien recibe de manera resumida, clara y sencilla, los datos del área de interés, del equipo multidisciplinario que estudia los desastres naturales. A continuación se presentan las disciplinas incluidas en la metodología general.

3.1.1 Sismología e Ingeniería Sismológica.- En base a datos de sismos ocurridos en el pasado que son registrados con instrumentos de período largo, y las características tectónicas de la circunscripción territorial en estudio y sus zonas aledañas, se determina el nivel regional de la actividad sísmica. Casi todos los países ubicados en zonas sísmicas cuentan con catálogos de los sismos de magnitud mayor que 4 que ocurren en su territorio, que pueden ser analizados. Los resultados sirven para fijar el nivel de los coeficientes de diseño sísmico.

Desde el punto de vista de la Ingeniería Sismológica, los registros de los terremotos mediante acelerógrafos para movimientos fuertes, instalados en diferentes

tipos de suelos que existen en el área de interés, constituyen una información muy valiosa. Estos registros procesados, permiten obtener espectros de diseño sísmico.

Otra técnica que utiliza la Ingeniería Sismológica es la medición con instrumentos muy sensibles de las constantes vibraciones a que está sometido el suelo que son la microtrepidaciones. Estas son producidas por el batir de las olas en las costas, las oscilaciones de los árboles mecidos por el viento, el tránsito vehicular, etc.

Estas vibraciones de amplitudes muy pequeñas del orden de unos pocos micrones son procesados para determinar histogramas que permiten estimar el período predominante del suelo. El análisis de Fourier, que es la curva de respuesta de velocidades con cero de amortiguamiento, es otra manera de determinar dicho período.

El Dr. Kiyoshi Kanai fue pionero en la utilización de esta técnica. De un registro de 3 minutos, procesaba los 2 minutos centrales graficando número de vibraciones contra frecuencia. El pico o los picos de esta curva indican las frecuencias predominantes del suelo.

Estas son técnicas utilizadas tradicionalmente, aun en algunos países en vías de desarrollo. El CISMID posee 3 equipos completos para medir y procesar microtrepidaciones y se utilizan frecuentemente. El Instituto Geofísico del Perú está a cargo de un número de acelerógrafos instalados en el país, y el CISMID, en convenio con otras instituciones, opera varios acelerógrafos donados por JICA.

Una técnica relativamente reciente y de alto costo permite efectuar la microzonificación sísmica de una zona de unos pocos km². Consiste en el registro simultáneo de microsismos, de un nivel intermedio entre los mencionados anteriormente, con un sismógrafo maestro, instalado en roca sana, que emite señal de radio para el arranque simultáneo de los instrumentos de la red, instalados en diferentes tipos de suelos.

En febrero y marzo de 1985, el Dr. Brian Tucker del Servicio de Geología del estado de California, el físico Manuel Benites, para entonces estudiante graduado de la Universidad del Sur de California, y el autor, registraron más de 15 microsismos que ocurrieron en el área de Lima.

El sismógrafo maestro se instaló en el cerro que divide el valle del Rimac y La Molina, un instrumento en el conglomerado del Rímac y 10 equipos en La Molina.

Dentro de las frecuencias de interés para la ingeniería, los niveles relativos de los espectros de aceleración fueron como 1 en roca, 2-4 en el conglomerado del Rimac y como 8-10 en La Molina. Estos valores relativos, concuerdan bastante bien con los niveles espectrales obtenidos de acelerogramas de movimientos fuertes, y explican por qué en La Molina los daños son más severos que en Lima, en los sismos que afectan el área.

Un método que usa los mismos principios, pero que utiliza sólo de 2 a 4-5 instrumentos puede ser aplicado, si los estudios se realizan después de la ocurrencia de un sismo de origen tectónico de gran magnitud. Se instala el instrumento base en roca, y los otros instrumentos en diferentes tipos de suelos por unos pocos días, hasta registrar 3 a 5 sismos, lo suficientemente fuertes para obtener registros de utilidad práctica. Esto es posible, debido a la alta frecuencia de los movimientos post-sísmicos que siguen al evento principal. Esta técnica se empleó en Chimbote y Huaraz después del terremoto de 1970. El costo no es alto y en unas pocas semanas o meses puede obtenerse información muy valiosa para fines de microzonificación.

3.1.2. *Geología.*- Los estudios geológicos son básicos en la metodología desarrollada para la realización de estudios de microzonificación.

Por inspecciones de campo, interpretación de fotografías aéreas, estudios de mapas y la correlación entre las estructuras geológicas locales con las estructuras regionales, el geólogo determina el grado de seguridad del área basándose en la litografía encontrada (tipos de rocas, características estructurales, fracturas, fallas, folding, etc.); y considerando la presencia de fenómenos hidrometeorológicos, determina la posibilidad de ocurrencia de fenómenos de geodinámica externa y su severidad como: inundaciones, deslizamientos, erosiones y deposiciones, avalanchas, etc.

El aspecto hidrogeológico es también una parte importante del estudio.

Vale la pena aclarar que inicialmente, todos los fenómenos de geodinámica externa estaban a cargo de geólogos, pero que recientemente, cuando se requiere

mayor precisión, han sido responsabilidad de otros especialistas. Por ejemplo, para determinar los límites de inundación con período de recurrencia 5, 10 y 50 años, ha tenido que recurrirse al ingeniero hidráulico/hidrólogo, quien emplea programas de computadoras para la simulación de tránsito de avenidas. En caso de deslizamientos, su probabilidad de ocurrencia y su dimensión, y los límites que afecta son determinados con mayor precisión por un ingeniero geotecnista.

También vale la pena recalcar, que cuando se estudian estos fenómenos desde el punto de vista de planificación urbana, lo que interesa es confeccionar para cada caso su plano de amenazas con los límites que afecta.

Las investigaciones sumadas dan como resultado un mapa de microzonificación geológica, el cual debe ser usado como primer input para el planificador urbano y para efectuar un buen programa de exploración del suelo y mediciones de microtrepidación, del tal manera que el número de perforaciones y lugares de registro sean mínimos, ahorrando así tiempo y dinero.

3.1.3 Mecánica de Suelos.- La distribución de los pozos de exploración de suelos y su profundidad puede ser basado en el diseño preliminar tridimensional efectuado por el planificador urbano, así como en las investigaciones geológicas previas.

La determinación de capacidad portante del suelo a nivel de cimentación y la determinación de la profundidad de la capa freática, son dos de las más importantes informaciones que deben ser determinadas.

Si se van a efectuar estudios de dinámica de suelos, los parámetros estáticos como densidad del suelo, espesor de los estratos, etc., deben ser determinados en esta etapa de las investigaciones, con mayor precisión, para un adecuado modelado del perfil del suelo, para su posterior análisis.

Otro aspecto que se estudia, es la posibilidad de falla del suelo. Esto puede ser provocado por incremento de cargas por acciones sísmicas, que en estratos superficiales de suelos granulares saturados y poco compactos puede causar licuación y también provoca fallas de taludes; y por cambio en las propiedades del suelo por acción del agua puede ocurrir expansión y colapso del suelo y deslizamientos.

También se investiga la presencia de sales solubles. Estos estudios son importantes para evitar daños catastróficos en la cimentación y superestructura.

Se puede deducir que es particularmente importante la coordinación de los estudios de geología y de mecánica de suelos.

3.1.4 Dinámica de Suelos.- Cuando no se tienen registros instrumentales directos de la zonas donde de constituirá obras importantes como presas y reactores nucleares, es posible obtenerlos a través de técnicas de dinámica de suelos. Consiste en la medición en el terreno de parámetros dinámicos y estáticos del suelo, para luego modelar perfiles representativos y simular en el computador el filtrado de señales artificiales y/o de registros sísmicos en roca o suelo firme.

La velocidad de las ondas P y S son los parámetros dinámicos de suelos más importantes por determinar. Al presente existen en el mercado instrumentos para efectuar dichas mediciones que son fáciles de usar y mantener. Utilizando las perforaciones realizadas en los estudios de Mecánica de Suelos se pueden instalar geófonos a distintas profundidades. Se generan luego ondas P y S en la superficie mediante golpes dados con un martillo a una pieza de madera, la cual está presionada contra el suelo, registrándose señales con las cuales es posible determinar las velocidades mencionadas. Este método se conoce como Down Hole, existiendo otros métodos parecidos, Up Hole, colocando explosivos a diferentes profundidades y geófonos en la superficie, Cross Hole, donde se utilizan 2 perforaciones y empezando desde la parte más profunda, se explotan pequeñas cargas en una de ellas y se recoge la señal en el otro pozo, a la misma altura y se va subiendo hasta llegar cerca de la superficie.

Entonces, si a través del modelo dinámico de suelo, obtenido de los datos anteriores, se filtran registros de sismos reales o sismos artificiales que se supone parten de la roca o de un suelo firme, se puede determinar las características dinámicas de los estratos a través de las cuales pasan estas ondas. Procesada la señal simulada en un computador y escalándola convenientemente, se puede determinar el espectro de diseño sísmico y acelerogramas artificiales que pueden ser usados de igual manera que los registros reales.

3.1.5 Tsunamis.- Los tsunamis con ondas marinas de período largo que generalmente se generan impulsivamente por desplazamientos verticales de los fondos oceánicos, durante sismos tectónicos de gran magnitud. Se manifiestan como olas de gran altura en las costas de batimetría y topografía desfavorables. Pueden causar graves pérdidas económicas como el de Chile de 1960 y numerosas víctimas, como el que ocurrió en el Callao-Perú en 1746, ocasión en que perecieron 4,800 de los 5,000 habitantes que tenía para entonces.

En función de datos batimétricos y topografía del área que afecta, se determina la altura de la ola de tsunami en la costa y se estiman los límites de la zona de inundación.

El mapa de inundación por tsunamis agregado a los mapas de peligro de otros fenómenos que amenazan la zona en estudio, permite obtener el mapa integrado de microzonificación, documento base para efectuar la planificación física para su mitigación en áreas costeras bajas. Estudio de este tipo se acaba de concluir para Punta Negra, (24) con el objetivo de que sirva como modelo para los asentamientos humanos a lo largo de 100 km de costas de Lima Metropolitana (18). Anteriormente se efectuaron estudios de toda la costa y se dieron lineamientos para la planificación urbana. (10, 11 y 13).

Bajo los auspicios de la UNDRRO, el autor asesoró en 1987-1988 estudios sobre efectos de tsunamis y cómo mitigarlos en las costas de la península de Santa Elena, donde se ubica el balneario de Salinas, Ecuador, y en las costas de Tumaco, Colombia.

Los resultados están siendo empleados, tanto para la planificación urbana como base para la preparación de planes de evacuación de la población que vive en las zonas bajas inundables.

3.1.6 Fenómenos Naturales no Considerados inicialmente en la Metodología General.- A raíz de trabajos de consultoría efectuados por el autor en Centroamérica y la parte Norte de Sudamérica, se tuvo que estudiar la distribución de daños que causan las actividades volcánicas, los huracanes y los temporales tropicales, que dependen grandemente de la topografía, la geología y características de suelos; se decidió incorporar estos fenómenos dentro de la metodología general desarrollada.

Esta decisión se vio reforzada por la internacionalización de las actividades del CISMID, mediante sus seminarios de "Terceros Países" auspiciados por JICA, la Agencia de Cooperación Internacional del Japón. En esos seminarios se da énfasis a la planificación física para la mitigación de desastres, y la microzonificación es la principal herramienta que se utiliza. A dicho seminario vienen invitados participantes de Centro y Sudamérica. En algunos países estos desastres son frecuentes y muy destructivos.

a) *Actividad Volcánica.*- Como consecuencia de la interacción de las placas Nazca y Sudamérica y de la de Cocos y Caribe respectivamente, el lado occidental de Sur y Centroamérica registra gran actividad sísmica y tramos de importante actividad volcánica.

En Sudamérica, 3 tramos presentan actividad volcánica coincidiendo con ángulos de subducción entre 25o. y 30o., y 2 tramos que sólo presentan actividad sísmica, donde dicho ángulo es de sólo 10o. (4).

En la América Central, la cadena volcánica se extiende paralela a la costa pacífica por unos 1200 km., extendiéndose entre Costa Rica y el sur de México.

Los volcanes de la zona de subducción, como corresponden a los de la región mencionada, se caracterizan porque emiten lava de gran viscosidad, por lo que tienden a formar domos o emitir flujos cortos de gran espesor. Por otra parte, la alta viscosidad del material evita el escape gradual de los gases, por lo que desarrollan grandes presiones. Por esta razón, se producen muchas veces erupciones explosivas, arrastrando grandes volúmenes de material sólido.

Los fenómenos asociados con las erupciones volcánicas son:

- Lanzamientos de partículas de rocas y cenizas que se traducen en caída de piroclásticos.
- Avalanchas a gran temperatura y explosiones laterales llamado flujo poroplástico.
- Flujos de lava
- Flujos de barro (lahares)

En general, el mayor peligro se limita al volcán y áreas muy cercanas que lo rodean unos 5 ó 10 km. de radio, donde se manifiestan todos los fenómenos mencionados como: caída de grandes bloques de roca fundida o sólidos, flujos piroclásticos que son masas de nubes calientes, de rocas en su parte inferior y cenizas y gases en su parte superior, que bajan a gran velocidad y temperatura y pueden generar el colapso de nubes eruptivas o explosiones dirigidas lateralmente.

Los flujos de lava en Centro y Sudamérica no tienen los alcances de los flujos de los volcanes hawaianos cuyas lavas son mucho más fluidas. La dirección del derrame y su encausamiento depende de la topografía.

Los que pueden afectar grandes distancias son los gases y cenizas, y los flujos de lodo. La distribución y alcance de las cenizas, aparte de depender de la característica propia de la emisión como volumen y altura que alcanza, tamaño de partículas, etc., depende fundamentalmente de la dirección y velocidad de los vientos. Pueden causar colapso de techos de viviendas en áreas cercanas al volcán, sobre todo si la ceniza se moja. Puede también causar contaminación del aire, cursos de agua y pasto.

Desde el punto de vista de la planificación urbana para la prevención y mitigación de desastres, el fenómeno más importante a considerar es el flujo de barro y piedras. Los flujos de lodos se originan cuando los materiales muebles depositados en las laderas de los volcanes, como escombros piroclásticos, ceniza y roca intemperizada, se saturan de agua, se vuelven inestables y se desplazan en gran volumen y velocidad cuesta abajo. El agua puede provenir de la fusión de nieve causada por incremento de temperatura debido a la actividad volcánica, de lluvias o derramamiento del lago de un cráter.

Pero estos flujos se desplazan por partes bajas del terreno, encauzándose a través de las quebradas y valles que se originan en el volcán y pueden avanzar decenas de kms., como ocurrió en las erupciones de los volcanes Santa Elena en Estados Unidos de Norteamérica y Nevado del Ruiz en Colombia. En este último caso la erupción del cráter Arenas, fundió la nieve del lado N y N-E del volcán y el flujo de lodo generado bajó a gran velocidad por los ríos Lagunillas y Azufrado que se juntan y apuntan directamente, con un estrecho cañón, a la zona donde se ubicaba Armero, y destruyó la ciudad, matando a 23,000 de sus 30,000 habitantes.

Se deduce pues, que no deben ubicarse centros poblados y obras importantes de ingeniería en el fondo de los valles y quebradas que nacen los volcanes, ni asentamientos humanos en la distancia y dirección que pueden ser afectados por gases y cenizas volcánicas.

Un mapa de amenazas del volcán en estudio puede delimitar las zonas amenazadas por los lahares (flujos de barro).

b) *Inundaciones*, huracanes y temporales tropicales.*- Estas manifestaciones violentas de la naturaleza son causadas por fenómenos hidrometeorológicos. En Estados Unidos de Norteamérica, los daños materiales causados por inundaciones, anualmente, son mucho mayores que los causados por los sismos, y también es uno de los fenómenos más destructivos en Centro y Sudamérica.

Los huracanes y temporales tropicales, que se nutren de abundante vapor en las calientes zonas del Atlántico y también del Pacífico, al acercarse a tierra o en algunos casos, penetrar en ella, perturban amplias zonas con vientos de alta velocidad, que al chocar con las altas montañas ascienden por sus frías laderas, donde se produce una convección forzada, ocurriendo una rápida condensación de vapor de agua que genera lluvias torrenciales y subsecuentemente inundaciones.

Los problemas se producen, porque el hombre ocupa con sus obras las llanuras de inundación de los cursos de agua. La función natural de dichos planos es drenar el exceso de agua cuando se producen lluvias extraordinarias. El no reconocer esa función, compitiendo con los ríos y quebradas en su uso, es lo que lleva al fracaso.

Las inundaciones pueden ser de dos tipos: flujos rápidos y desbordes de ríos. El primero es más violento y puede producir mayores daños, pues muchas veces va acompañado de materiales sólidos, como rocas de diversos tamaños y troncos de árboles. Se produce en cuencas de gran pendiente y forma desfavorable que concentran el flujo de agua, por ejemplo, en un cañón estrecho y profundo. El problema se agrava si el agua se represa en las partes altas por deslizamientos previos. Esto es precisamente lo que ocurrió el 7 de junio de 1934, fecha en que Antigua Ocotepeque, en Honduras, fue destruida. En la misma fecha, Metapán, El Salvador, fue inundada por el río San José. Las soluciones para estos problemas fueron diferentes: Ocotepeque se trasladó a su nueva ubicación mientras que, en la

parte alta de Metapán, la cuenca del río San José fue tratada con la colaboración de la FAO, para evitar que la erosión de las cárcavas continúe y aporte así material que el río arrastra aguas abajo, colmatando su cauce y propiciando inundaciones.

Los desbordes de los ríos se producen más bien en los cursos bajos, en zonas relativamente planas, donde los cursos de agua drenan las lluvias de extensas áreas. Al producirse lluvias torrenciales por un tiempo prolongado, las aguas se salen de su cauce habitual inundando áreas vecinas.

Además de tenerse en cuenta que los daños que causan inundaciones, huracanes y temporales tropicales, dependen fundamentalmente de la topografía y debe ser considerado en la planificación física, no debe olvidarse que los 2 últimos fenómenos pueden producir en las costas olas altas y muy violentas, cuyo límite de inundación debe determinarse, para ser considerado en la planificación urbana.

3.1.7 Coordinación de los Estudios de Microzonificación.- Como los estudios de microzonificación son multidisciplinarios, la coordinación es vital para obtener resultados satisfactorios.

Aunque las reuniones de trabajo de los jefes de áreas son frecuentes, para agilizar los trabajos e incrementar la eficiencia, el coordinador debe tener conocimientos de varias disciplinas y tener muy claros los objetivos de los estudios de microzonificación y la manera en que serán posteriormente aplicados.

Inicialmente, en la década de los años 70, el coordinador era un especialista en Ingeniería Sísmica con experiencia en diseño estructural. Sus conocimientos y experiencia le permitían discernir qué estudios eran relevantes para conseguir los objetivos trazados y con qué detalle deberían ser efectuadas las investigaciones, pues sus diseños terminan siempre cuantificando resultados. Por ejemplo, el refuerzo de la sección de vigas y columnas de concreto con varillas de acero, difícilmente puede acomodar con una precisión mayor que el 5% del área que resulta en los cálculos. Esto estuvo bien, porque en esa década los estudios de microzonificación tuvieron énfasis en el aspecto sísmico.

Pero al incorporarse otros fenómenos como inundaciones, actividad volcánica, huracanes, etc., no basta que el coordinador tenga conocimientos sobre Ingeniería