

“ATLAS PARA EL MANEJO DE RIESGOS EN GRANDES OBRAS HIDRÁULICAS POR EFECTO DE EVENTOS METEOROLÓGICOS EXTREMOS (PRIMERA ETAPA)”

HC-1107.1

Informe final

COORDINACIÓN DE HIDRÁULICA

SUBCOORDINACIÓN DE OBRAS Y EQUIPOS HIDRÁULICOS

Gilberto Salgado Maldonado

Participación de:

Isaac Bonola Alonso

José Alfredo González Verdugo

José Raúl Flores Berrones

Javier Aviles López

Xiangyue Li Liu

México, 2011

Paseo Cuauhnahuac 8532, colonia Progreso, Jiutepec, Morelos, 62550, México
Tel +52 777 3293600, www.imta.mx

CONTENIDO

HC-1107.1 ATLAS PARA EL MANEJO DE RIESGOS EN GRANDES OBRAS HIDRÁULICAS POR EFECTO DE EVENTOS METEOROLÓGICOS EXTREMOS (PRIMERA ETAPA)	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
INTRODUCCIÓN.....	1
BUSQUEDA Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN	6
OBJETIVO DEL ANÁLISIS MULTIESPECTRAL.....	12
JUSTIFICACION	12
INTRODUCCION AL ANÁLISIS MULTIESPECTRAL.....	13
METODOLOGIA	14
ANÁLISIS ANALÓGICO MULTIESPECTRAL DE LAS IMEGENES DE SATÉLITE EMPLEADAS:	15
ESTRUCTURAS VOLCANICAS	17
ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS.	20
ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS.	20
ESTRUCTURAS GEOMORFOLÓGICAS SEDIMENTARIAS.....	20
REOLOGIA.....	25
REOLOGÍA DE LA SUSTANCIA ACTUANTE:	25
<i>REOLOGÍA DE LAS ROCAS ARCILLOSAS:</i>.....	26
<i>REOLOGÍA GENERAL DE LAS ROCAS SEDIMENTARIAS:</i>	29
TEXTURA DE LAS ROCAS SEDIMENTARIAS:	30
LOS ÍNDICES ESTRUCTURALES GENÉTICOS DE LAS ROCAS SEDIMENTARIAS:30	
<i>REOLOGÍA DE LAS ROCAS CARBONATADAS (CALIZAS Y DOMITAS):</i>	30
POROSIDAD DE LAS ROCAS CARBONATADAS:.....	30
ELASTICIDAD, PLASTICIDAD Y CARACTERES DE COMPRESIBILIDAD/DEFORMIDAD DE LOS PAQUETES CARBONATADOS:	31
DESLIZAMIENTO DE PAREDES MONTAÑOSAS Y DE TIERRAS:	32

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	39
INFORMACIÓN RELEVANTE RECOPIADA	40

INTRODUCCIÓN

Por sus efectos, los desastres pueden tener importantes consecuencias en el ámbito económico y social, en el desarrollo de una región e inclusive llegar a comprometer la seguridad nacional. Por tanto, su impacto puede incidir significativamente en el bienestar y calidad de vida de sus habitantes. Así, en las décadas de los ochentas y noventas los efectos causados por los desastres en México significaron, en promedio anual, pérdidas de 500 vidas humanas y daños materiales por 700 millones de dólares (información tomada de CENAPRED, 2006).

De acuerdo con el informe publicado por Naciones Unidas referente a la evaluación global sobre la reducción del riesgo de desastres (EIRD, 2009), en vista de los fuertes vínculos que existen entre riesgo de desastres, pobreza y cambio climático, la recomendación principal de este informe es que los países deben adoptar marcos generales e inclusivos de políticas y estrategias para la reducción del riesgo enfocados a abordar los factores causales de desastres y que estos marcos deben ir acompañados tanto de recursos financieros como de voluntad política. En los países propensos al riesgo, la aplicación de tales marcos debe constituir la prioridad fundamental del Estado, no solo de un determinado departamento o ministerio.

Dicho informe presenta también información relacionada con los peligros o amenazas múltiples que afectan a todo el mundo. En lo que se refiere a México, en las figuras 1.1 y 1.2 se muestra la distribución geográfica de las amenazas meteorológicas y tectónicas en nuestro país.

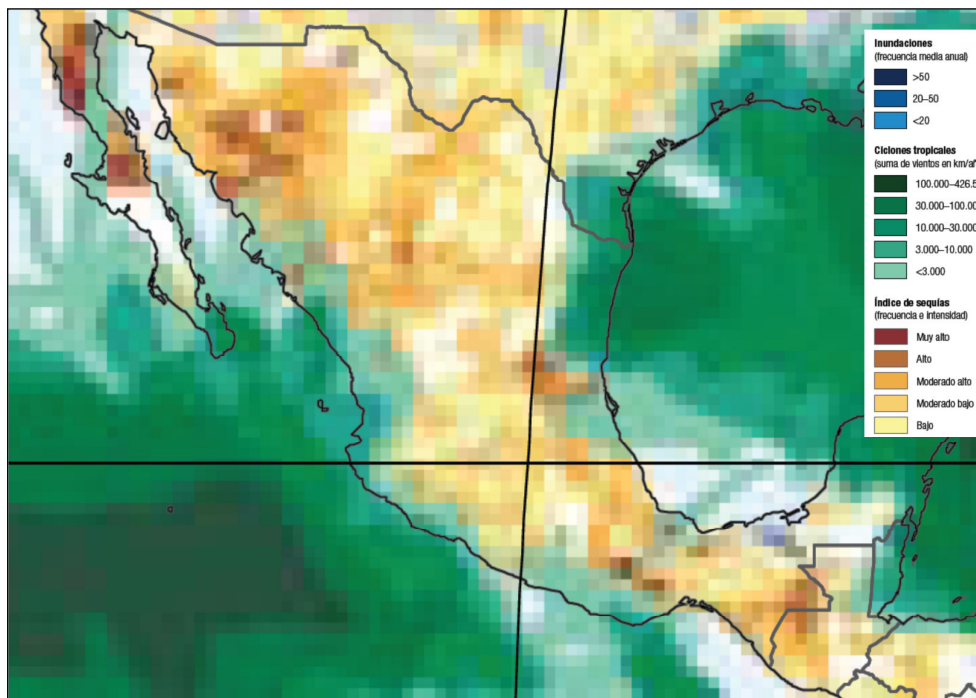


Figura 1.1. Amenazas meteorológicas que afectan a México.

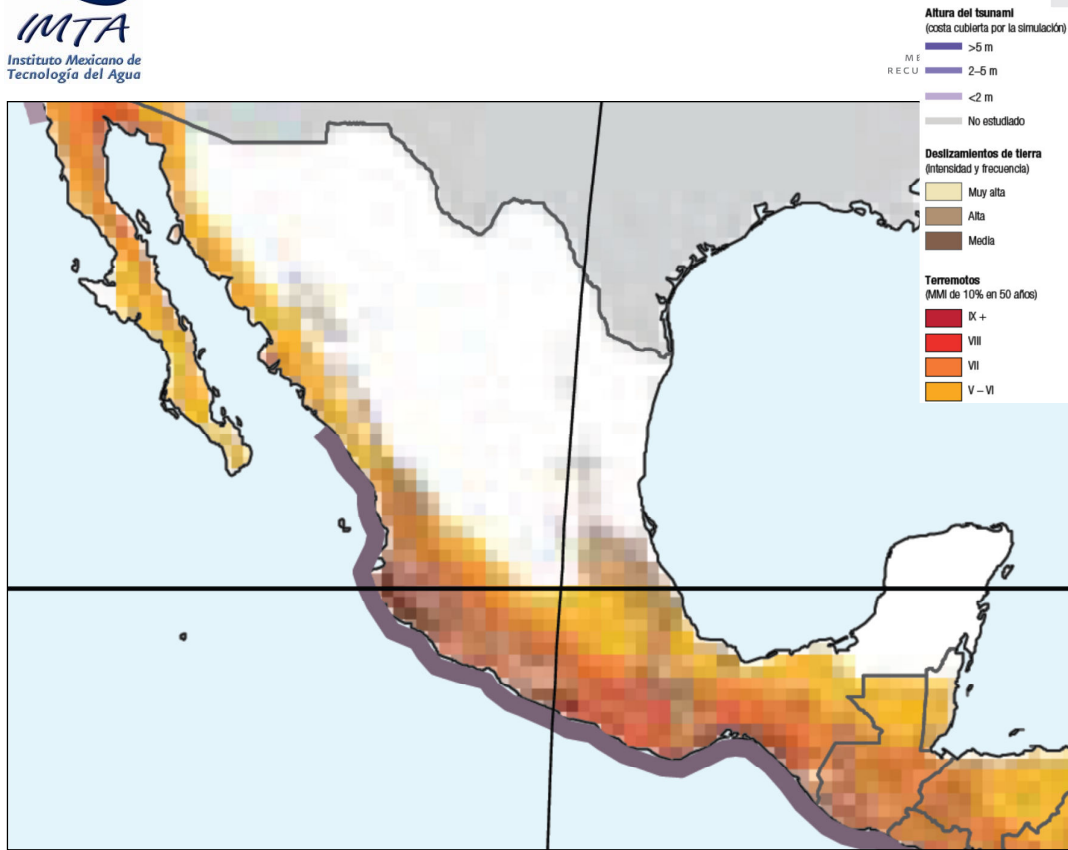


Figura 1.2. Amenazas tectónicas que afectan a México.

Asimismo, el informe muestra datos relacionados con las personas expuestas por año distintas amenazas en países de todo el mundo. En las figuras 1.3 a 1.10 se muestran dichas estadísticas y el lugar que México ocupa en lo que a afectaciones se refiere.

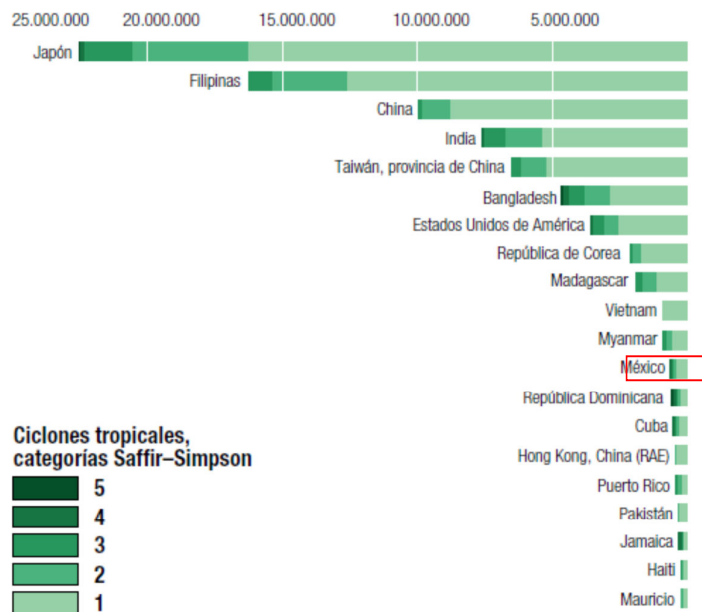


Figura 1.4. Personas expuestas por año a ciclones tropicales.

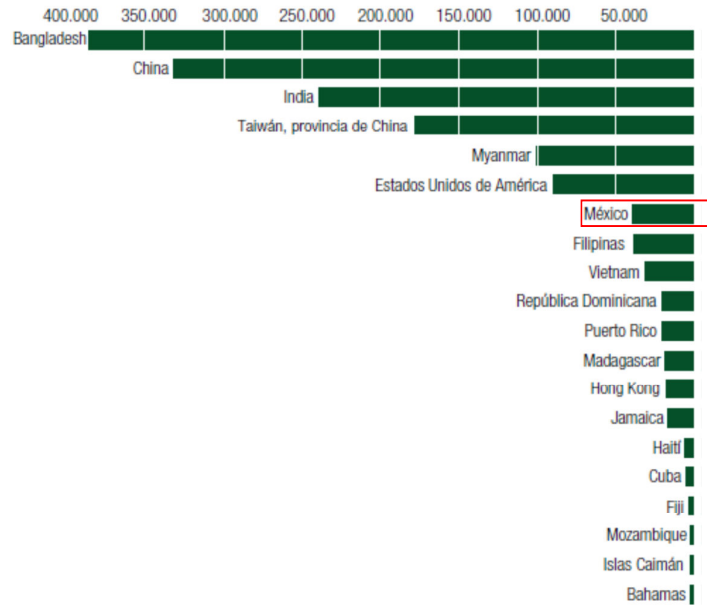


Figura 1.5. Personas expuestas por año a marejadas, para todas las categorías de ciclón tropical.

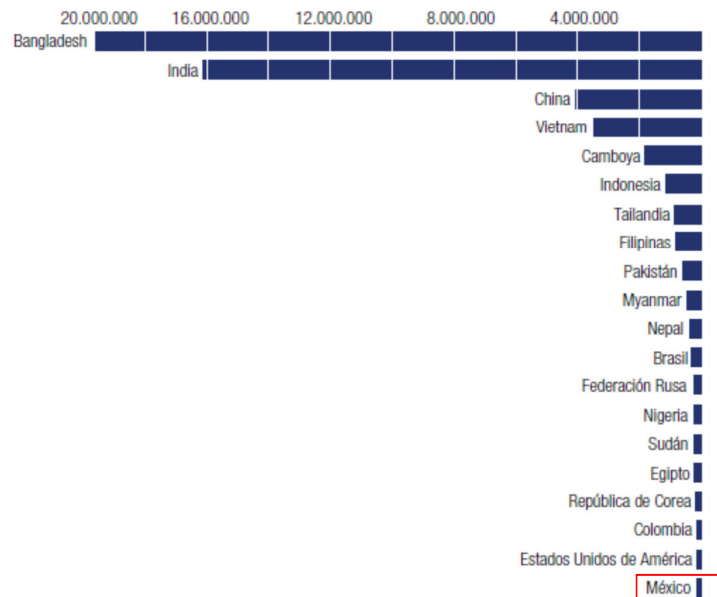


Figura 1.6. Personas expuestas por año a inundaciones.

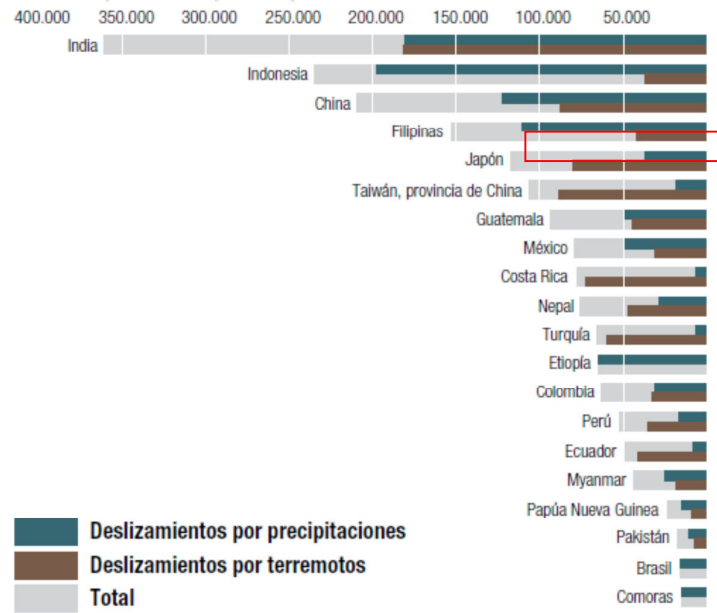


Figura 1.7. Personas expuestas por año a deslizamientos de tierra provocados por precipitaciones o terremotos.

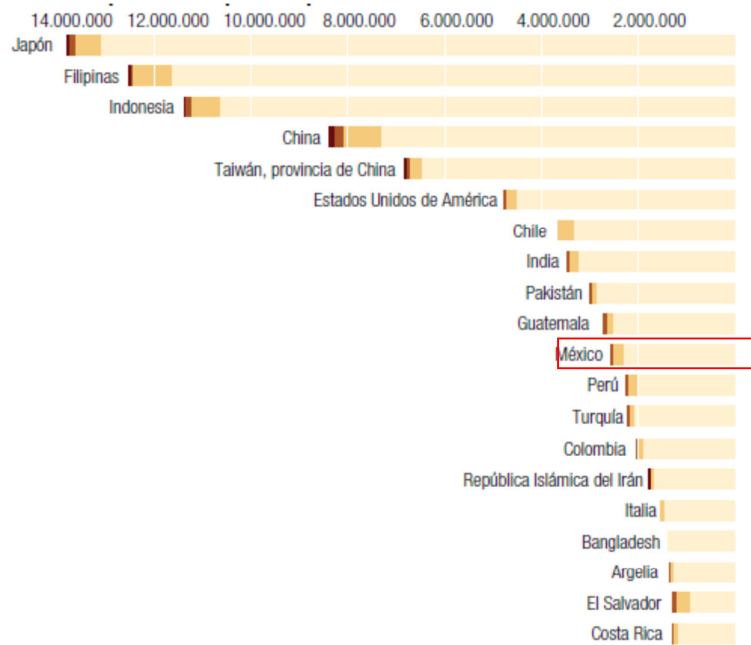


Figura 1.8. Personas expuestas por año a terremotos.

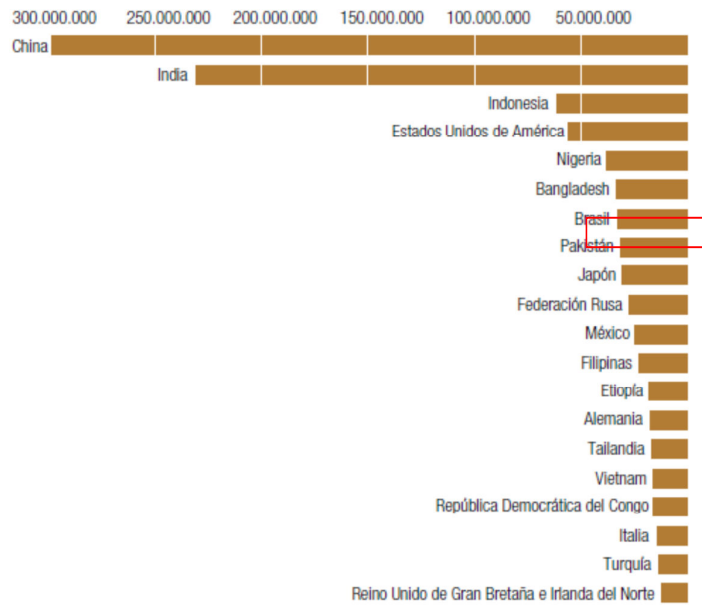


Figura 1.9. Personas expuestas por año a sequías.

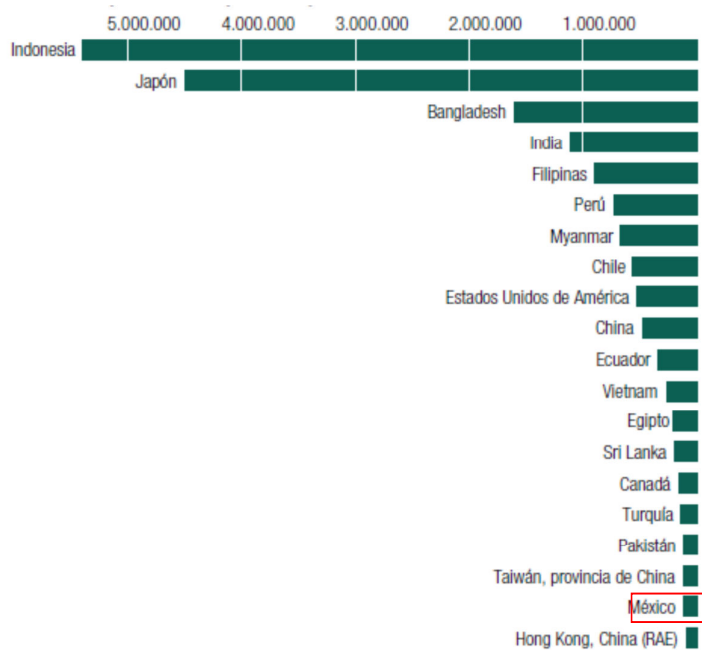


Figura 1.10. Personas expuestas por año a tsunamis.

BUSQUEDA Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

En México se han realizado diversos esfuerzos para la elaboración de Atlas de riesgos, coordinado principalmente por el CENAPRED. Los mayores logros ha sido incorporar en el marco legal la obligación y la regulación de la elaboración de mapas de riesgo. La información recopilada al respecto, ha sido orientada dar guías generales para la elaboración atlas de riesgo a nivel estatal y municipal. Durante las reuniones nacionales se han mostrado los avances y las metodologías y criterios adoptados por las entidades participantes. Es evidente que no existe una metodología específica ya que los tipos de amenazas y vulnerabilidad difieren entre una entidad y otra.

En conclusión, es necesario que en nuestro país se cuente con información detallada sobre las amenazas o peligros a los que están sometidas las distintas regiones que forman nuestro país y las vulnerabilidades y capacidades de su entorno físico y social. Aunque se han hecho una gran cantidad de ejercicios para crear atlas de riesgos por estados y municipios, es cierto también que no todos ellos cuentan con el rigor metodológico sugerido por el CENAPRED, que es la agencia nacional encargada de la prevención de desastres en México, por lo que así como se tienen atlas detallados de ciertas entidades, también hay otras cuyos atlas no cumplen con el mínimo nivel requerido, ni en metodología, ni en formatos, por lo que en la mayoría de las veces es imposible comparar, ya no se diga compilar, toda la información generada a la fecha. Asimismo, también es cierto que muchas amenazas van más allá de la distribución por entidades o municipios que definen a nuestro país, por lo que la evaluación del riesgo de dicha amenaza tendría que abandonar el concepto federalizado y moverse hacia un concepto más regional, que abarque toda la extensión o influencia del fenómeno estudiado, lo que a su vez obliga a un trabajo interestatal muy bien coordinado.

Ante la obvia necesidad planteada en los párrafos anteriores, el documento que se presenta a continuación forma parte de un proyecto enfocado a integrar un atlas por regiones hidrológicas para el manejo de riesgos naturales y prevención de desastres en el que se integre información derivada de la investigación en los últimos años sobre los peligros y riesgos que afronta nuestro país en lo que al sector agua y su infraestructura se refiere. Este documento servirá por un lado para que los tomadores de decisiones dentro del sector cuenten con una herramienta que les permita establecer planes y programas de gran visión en lo que a prevención y mitigación se refiere; pero también servirá como guía para el análisis y diseño ante la solicitud correspondiente. Para lograr lo anterior, se propone desarrollar mapas de riesgos y como complemento criterios y metodologías para el análisis y diseño por cada uno de los eventos considerados, en forma de manuales de aplicación práctica que servirán a los diseñadores y constructores a solucionar un problema particular, pero también como referencia obligada para normar los proyectos de infraestructura que dentro del sector se pretenda construir o revisar.

Este proyecto demanda un enorme esfuerzo de investigación, recopilación de datos, trabajo de campo y sobre todo, de coordinación multidisciplinaria dentro y fuera del instituto, con la indispensable participación de los gobiernos federal, estatal y municipal, las autoridades de Protección Civil, organizaciones oficiales y privadas, así como la población en general.

Partiendo de la definición de riesgo en la forma mas completa, implica la presencia de un **agente perturbador** (fenómeno natural o generado por el hombre) que tenga la probabilidad de ocasionar **daños** a un **sistema afectable** (asentamientos humanos, infraestructura, planta productiva, etc.) en un grado tal, que constituye un **desastre**. Así, un movimiento del terreno provocado por un sismo no constituye un riesgo por sí mismo. Si se produjese en una zona deshabitada, no afectaría ningún asentamiento humano y por tanto, no produciría un desastre.



Figura 1.11. Esquema de riesgo.

La definición implica que primero se requiere identificar la ubicación del sitio, los posibles peligros a los que está expuesto, las condiciones físicas del suelo, meteorológicas, sísmicas, volcánicas, etc, a las que está sujeta y la vulnerabilidad al daño. Esta información es básica e indispensable para la delimitación de los atlas de riesgo, por lo que se propone una metodología general mediante el análisis de imágenes de satélite.

Para cumplir con el objetivo planteado se propone la siguiente metodología general:

- 1) Análisis multispectral por regiones hidrológicas mediante metodologías de percepción remota.
- 2) Desarrollo de un banco de datos de riesgos naturales y prevención de desastres por regiones hidrológicas en plataforma de sistemas de información geográfica (SIG).

- 3) Detección por regiones hidrológicas de áreas sensibles de ocurrencia de desastres naturales.
- 4) Zonificación regional por:
 - a) Inundaciones
 - b) Deslizamientos
 - c) Flujos de lodos y escombros
 - d) Erosión laminar en cuencas
 - e) Corredores sísmicos y sismicidad
 - f) Sequías
 - g) Huracanes
- 5) Desarrollo de criterios y metodologías para el análisis, evaluación y diseño para cada uno de los eventos enumerados. Estos criterios se presentarán como manuales complementarios para cada una de los eventos.

La propuesta es cubrir esta metodología en distintas etapas, de la que el informe de este proyecto pretende cubrir el primer punto, enfocado al análisis multiespectral para la identificación y obtención de la información básica requerida para la determinación y manejo del riesgo en grandes obras hidráulicas por efecto de eventos meteorológicos extremos.

Una vez definida la información básica, se procederá a los análisis detallados mediante el uso de procesos masivos de información, ya sea con modelos numéricos específicos software tipo sistemas de información geográfica.

Se anexa relación de información relevante consultada en el proyecto.

El enfoque de la prevención

Debido a la gran variedad de fenómenos que pueden causar desastres en México, el enfoque de la prevención ha tomado una gran relevancia, reconociendo la importancia de establecer estrategias y programas de largo alcance enfocados a prevenir y reducir sus efectos y no sólo focalizar recursos para la atención de las emergencias y la reconstrucción (Conceptos básicos sobre Peligro, Riesgos y su Representación Geográfica, CENAPRED, 2006).

La estrategia de la prevención establece tres pasos fundamentales.

1. Conocer los peligros y amenazas, que pueden entenderse como eventos físicos que ocurren en un área poblada o con infraestructura que puede ser dañada, para saber dónde, cuándo y cómo afectan a la sociedad.
2. Identificar y establecer en el ámbito nacional, estatal, municipal y comunitario, las características y los niveles actuales de vulnerabilidad, definida como la exposición de las personas, sus obras y su medio a los efectos de tales eventos.
3. Evaluar las capacidades con las que cuenta la comunidad para enfrentar, reducir o eliminar una emergencia, en donde se incluyen las acciones y programas enfocados al reforzamiento y adecuación de la infraestructura, mejoramiento de

normas y vigilancia en su aplicación, y la preparación de la población para que sepa cómo actuar antes, durante y después de la ocurrencia de algún evento.

Equivocadamente se tiene la percepción de que los desastres se deben exclusivamente a los peligros. Se suele señalar, por ejemplo, al huracán o al sismo como el responsable de las pérdidas durante un desastre o emergencia. En realidad es la sociedad en su conjunto la que se expone con su infraestructura física, organización, preparación y cultura característica al encuentro de dichos fenómenos.

Entonces, para realizar el análisis de riesgos, que puede entenderse en términos generales como la estimación del impacto que un peligro natural va a tener sobre la sociedad, deben considerarse los peligros, la vulnerabilidad y las capacidades de cualquier sitio en estudio, considerando que existen variables que pueden cambiar con el tiempo que hacen que el concepto de riesgo no tenga un valor estático sino que requieran para su análisis el uso de modelos numéricos y herramientas complejas que permitan representar esa dinámica.

Conceptos clave en el análisis de riesgos frente a peligros naturales

México, como es bien sabido, se encuentra situado en una región afectada por diversos fenómenos naturales y generados por el hombre, que anualmente causan daños, pérdidas económicas y de vidas humanas. El país se encuentra situado en una zona de alta actividad sísmica y volcánica provocada por el movimiento de 5 placas tectónicas. Es por ello que dos terceras partes del territorio se encuentran en zonas de alto y muy alto peligro sísmico. Asimismo del gran número de volcanes que existen, 14 de ellos se les consideran activos ya que han tenido actividad eruptiva en tiempos históricos.

La ubicación del país y sus características geográficas favorecen también la presencia de fenómenos hidrometeorológicos, como los 25 huracanes que en promedio se generan anualmente afectando principalmente las zonas costeras en ambos litorales. Asociadas a estos fenómenos también se presentan lluvias torrenciales que provocan inundaciones y deslaves. Por el contrario, algunas regiones del país se ven afectadas por escasez de agua durante tiempos prolongados dando lugar a sequías.

Una manera de estudiar los peligros naturales es diferenciarlos de acuerdo a su origen:

- A. Atmosféricos
 - a. Tormenta tropical
 - b. Huracán
 - c. Tornados
 - d. Rayos eléctricos
- B. Hidrológicos
 - a. Inundación costera
 - b. Inundación por desbordamiento de ríos
 - c. Sequía
 - d. Desertificación
 - e. Erosión
 - f. Sedimentación
 - g. Salinización
- C. Geológicos

- a. Deslizamientos de tierra
- b. Avalancha
- c. Caída de rocas
- d. Hundimiento y asentamiento
- e. Flujos de escombros

D. Sísmicos

- a. Terremoto
- b. Tsunami
- c. Licuefacción

E. Erupción volcánica

- a. Gases, ceniza
- b. Flujos de lava
- c. Flujos de lodo
- d. Explosiones

Para caracterizarlos es preciso identificar los siguientes rasgos:

- i. Frecuencia: Cuán a menudo ocurre.
- ii. Localización: Dónde es probable que ocurra.
- iii. Extensión: Cuál sería el área afectada.
- iv. Duración: Cuánto puede durar.
- v. Estacionalidad: En qué época del año se presenta.
- vi. Severidad: Magnitud e intensidad.
- vii. Tiempo de Alerta: Comienzo súbito vs comienzo lento.
- viii. Efectos secundarios: Qué otros peligros naturales y no naturales puede producir.

En la tabla 1 se presentan ejemplos de variaciones en el tipo de información requerida para diferentes peligros naturales:

	Terremoto	Deslizamiento de tierras	Huracanes	Inundación por desbordamiento de ríos
Localización	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Epicentro ✓ Fallas geológicas 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Inventario de deslizamientos ✓ Formaciones geológicas ✓ Pendientes de cerros 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Contacto costero ✓ Recorrido 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Canales ✓ Ruta de inundación ✓ Planicie de inundación ✓ Elevación
Severidad	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Intensidad (Mercali) ✓ Magnitud (Ritcher) ✓ Aceleración ✓ Desplazamiento 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Velocidad ✓ Desplazamiento 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Velocidad de viento ✓ Caída de lluvia 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Volumen ✓ Velocidad ✓ Tiempo de inundación
Frecuencia	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Intervalos ✓ Actividad sísmica histórica 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Recurrencia de terremotos ✓ Patrón de caída de lluvias ✓ Formación de bancos 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Recurrencia histórica 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Recurrencia histórica ✓ Registro histórico
Efectos secundarios	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Deslizamiento de tierras ✓ Tsunami 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Sedimentación ✓ Erosión 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Tornados ✓ Mareas de tormenta 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Cambio del curso del río ✓ Erosión

	✓ Licuefacción		✓ Tormentas	✓ Flujos de lodos y escombros ✓ Problemas sanitarios
--	----------------	--	-------------	---

Tabla 1. Análisis diferenciado según el tipo de peligro natural.

En lo que a vulnerabilidad se refiere, su estudio incluye la comprensión de los siguientes sistemas:

- Natural:
 - Especies de animales
 - Medio ambiente natural (ríos montañas, áreas costeras, bosques).
 - Ecosistemas en general.

- Artificial o creado por el hombre:
 - Asentamientos humanos: Vivienda, edificios y servicios asociados.
 - Instalaciones críticas: Telecomunicaciones, agua, energía, sanidad, salud y transporte.
 - Instalaciones de producción económica: Fuentes de empleo, bancos, industrias, áreas de producción agrícola, ganadera, forestal, minera, pesquera, turismo.
 - Lugares de concentración pública: Colegios, iglesias, teatros, oficinas, etc.
 - Patrimonio cultural: Edificios de importancia cultural, de uso comunitario o con valor arquitectónico.

- Social - político - organizacional:
 - Poblaciones en situación de pobreza.
 - Comunidades sin organización.
 - Comunidades en áreas geográficas de difícil acceso
 - Organizaciones claves como servicios médicos de emergencia, policía, bomberos y organizaciones post desastre.

En nuestro país el CENAPRED ofrece una visión alternativa en términos de vulnerabilidad, separándola en dos tipos: la física y la social. La primera es cuantificable en términos físicos, por ejemplo la resistencia que ofrece una construcción ante las fuerzas de los vientos producidos por un huracán y la segunda se puede valorar cualitativamente y es relativa, ya que está relacionada con aspectos económicos, educativos, culturales, así como el grado de preparación de las personas (CENAPRED, 2006). Por ejemplo, una obra hidráulica diseñada y construida respetando un reglamento de construcción que tiene requisitos severos para proporcionar seguridad ante efectos sísmicos, es mucho menos vulnerable ante la ocurrencia de un terremoto, que otra cuyos

elementos no están preparados para resistir dicho fenómeno. En otro aspecto, una presa de almacenamiento cuyo personal cuenta con una organización y preparación para responder de manera adecuada ante la inminencia de una lluvia extraordinaria, por ejemplo mediante sistemas de alerta y planes de operación adecuados, presenta menor vulnerabilidad que otra que no está preparada de esa forma.

Tal como se muestra, el primer paso entonces es identificar de manera lo más precisa posible los peligros o amenazas para la infraestructura hidráulica en nuestro país, ya sea existente o que se pretenda construir. El enfoque que se propone es hacerlo inicialmente desde una amplia panorámica que permita tomar en cuenta características importantes que dependen de la naturaleza del fenómeno y de las características físicas del entorno (topografía, geología, geotecnia, reología, hidrología, sismología, etc.). La obtención de estos datos requiere la exploración de extensas áreas geográficas que permitan correlacionar dichos datos con potenciales riesgos a los que estarán sometidas las obras hidráulicas durante su vida útil. Esto puede realizarse mediante el análisis analógico multiespectral de imágenes de satélite cuya metodología se expone en el resto del presente informe.

OBJETIVO DEL ANÁLISIS MULTIESPECTRAL

- a) Desarrollo de una metodología general para la identificación y obtención de la información básica requerida para el manejo de riesgos en grandes obras hidráulicas por efecto de eventos meteorológicos extremos.
- b) Aplicación de la metodología desarrollada a una zona piloto.

JUSTIFICACION

En los últimos años, la infraestructura hidráulica ha sido vulnerable a eventos hidrometeorológicos extremos que han rebasado los parámetros de diseño originalmente considerados; asimismo, en la actualidad existen una diversidad de procedimientos para el análisis de riesgo de las obras hidráulicas que, sin embargo, no toman en cuenta características importantes que dependen de la naturaleza del fenómeno y de las características físicas del entorno (topografía, geología, geotecnia, reología, hidrología, sismología, etc.) en que se desarrollarán cada una de dichas obras. La obtención de estos datos requiere, dependiendo del tipo de obra por diseñar, la exploración de extensas áreas geográficas que permitan correlacionar dichos datos con potenciales riesgos a los que estará sometida la obra durante su vida útil.

En México, la obtención de este tipo de información mediante la interpretación de imágenes, será una investigación piloto-pionera, ya que no se ha realizado una investigación semejante. En Europa, es en Francia donde se realizaron los primeros trabajos de esta naturaleza por el Ministerio de la Prévention des Risques Naturels et Technologiques Majeurs, en 1983. Posteriormente es en otros países de la Comunidad Económica Europea, en donde se realizan estos trabajos sistemáticamente. Asimismo, en Canadá y en los Estados Unidos de Norteamérica se realizan estudios parecidos por parte de los servicios geológicos de estos países.

Cabe mencionar que el CENAPRED, el Servicio Meteorológico Nacional y el Servicio Sismológico Nacional, realizan trabajos semejantes pero no con el enfoque propuesto en este servicio.

INTRODUCCION AL ANÁLISIS MULTIESPECTRAL

Geología ambiental, es la ciencia que se encarga de estudiar las relaciones que existen entre el origen geológico de los paisajes, la biosfera y, las características reológicas de los materiales constituyentes de los escenarios naturales. Para ello se apoya en las características físicas de los materiales pétreos, su génesis y su evolución. De igual modo establece la relación de éstos con los ecosistemas y su dispersión, más los cambios inducidos por las actividades humanas.

De igual modo estudia los principios que establecen la dispersión de los recursos naturales, el concepto integral de las cuencas hidrológicas y su relación con los recursos bióticos.

En un sentido más amplio, la geología ambiental, es la rama interdisciplinaria de las ciencias naturales que enfoca las interacciones entre los fenómenos naturales geológicos y de los procesos bióticos, más los de la influencia humana.

El presente trabajo en este tema, tiene como finalidad integrar la información, de manera multidisciplinaria, y correlacionarla entre la evolución de las regiones naturales involucradas y la ubicación de las áreas susceptibles de riesgos naturales por efecto de eventos meteorológicos extremos. Y en base a ellos poder establecer una metodología general de la técnica de interpretación de imágenes para la elaboración de mapas con esta temática.

METODOLOGIA

Por la naturaleza de los enfoques de este trabajo, se establecieron las bases de correlación siguientes:

Análisis analógico multiespectral de las imágenes de satélite empleadas en la elaboración de esta metodología.

Características litológicas-geomorfológicas de los paisajes involucrados en el territorio denominado prototipo. Estas características están definidas por las propiedades inherentes a cada tipo de rocas y estructuras que les son propias. Entre estas estructuras geomorfológicas tenemos:

Estructuras sedimentarias. Estas se encuentran dispersas por la parte Este y Sur- del territorio estudiado, ver imagen de satélite 1.

Estas tienen sus patrones geomorfológico-estructurales conspicuos, debido a su disposición en estratos (capas) y debido a sus propiedades plásticas sus deformaciones por causas tectónicas (sismicidad especialmente) sus paisajes son redondeados y plegados. En especial resalta en los paquetes carbonatados (calizas y dolomitas) el patrón de drenaje “paralelo”, ver figura 2, se esquematiza el patrón de drenaje paralelo, característico de los paquetes de rocas carbonatadas (calizas y dolomitas).

Características Reológicas: La reología es la ciencia que estudia las propiedades físicas de los materiales terrestres, en este capítulo se estudiaron las propiedades de: a) ZRA-zonas de recarga de acuíferos; b) ZRAbp-zonas de recarga de acuíferos de bajo potencial; c) PV-plasticidad-viscosidad; d) permeabilidad-porosidad; e) ET-zonas de tremores (sismicidad por causas volcánicas); f) AV- avalanchas; g) RPP- rocas plásticas plegadas; h) D-zonas de deforestación; i) SF- zonas de suelos frágiles; j) PDH-zonas con potencial de deslizamientos-hundimientos; k) I- suelos impermeables; l) zonas de debilidad superficial; m) Aa-abanico aluvial; n) EV-erosión vertical, o) EL-erosión laminar; p) DS-dolinas; q) C-caliche; r) T-travertinos

ANÁLISIS ANALÓGICO MULTIESPECTRAL DE LAS IMEGENES DE SATÉLITE EMPLEADAS:

El análisis analógico está basado en las características que nos brindan cada una de las combinaciones de las bandas del espectro electromagnético, en la composición de las imágenes, por lo mismo, llamadas multiespectrales, de satélite. Las combinaciones que fueron empleadas en esta investigación son:

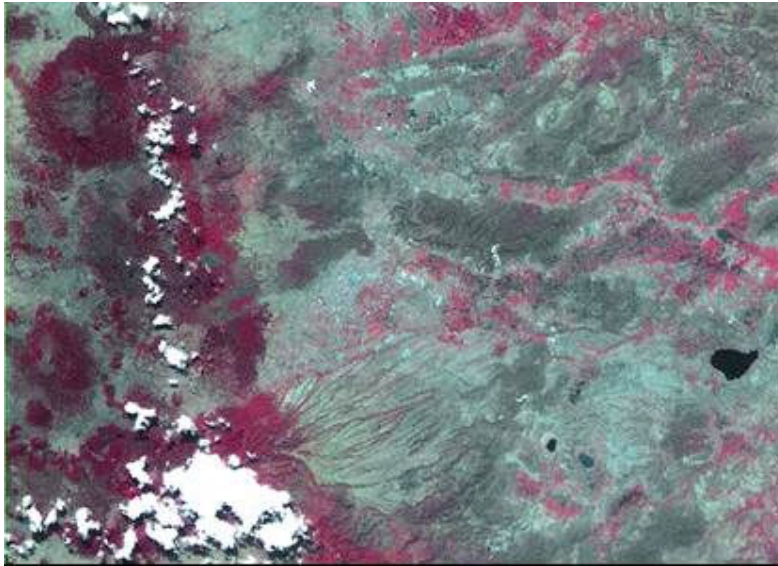


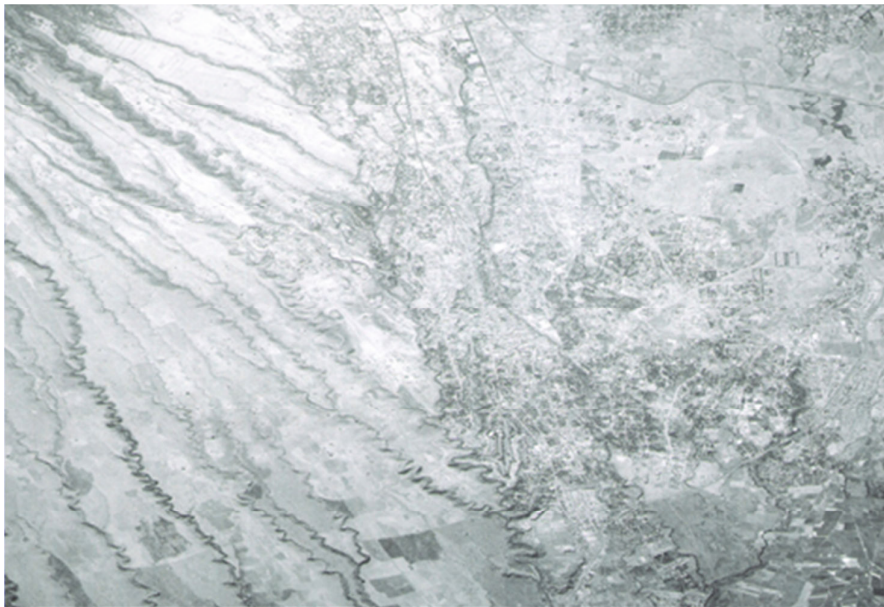
Imagen de satélite 1. Imagen de satélite Landsat TM4—Inegi, en las Bandas 4-3-2. Región de Cuernavaca, Morelos. La banda 4 corresponde al infrarrojo cercano y Las bandas 3 y 2, corresponden al espectro Electromagnético visible.



Imagen de satélite 2. Imagen de satélite Landsat TM 4- INEGI. Bandas 4, 3, 2. En donde se muestra en Color rojo los cuerpos clorofilados (vegetación), en color negro los cuerpos de agua superficial. Y en color azul oscuro los cuerpos de agua superficiales con poco espesor de agua.



Imagen de satélite 3. Imagen multiespectral, en las combinaciones de las bandas 7-3-2. La banda 7 corresponde al infrarrojo intermedio y, las bandas 3 y 2, corresponden al espectro visible.



Fotografía 1. Fragmento de fotografía aérea en una película Inegi pancromática en blanco y negro. Región de Cuernavaca, Morelos.

ESTRUCTURAS VOLCANICAS

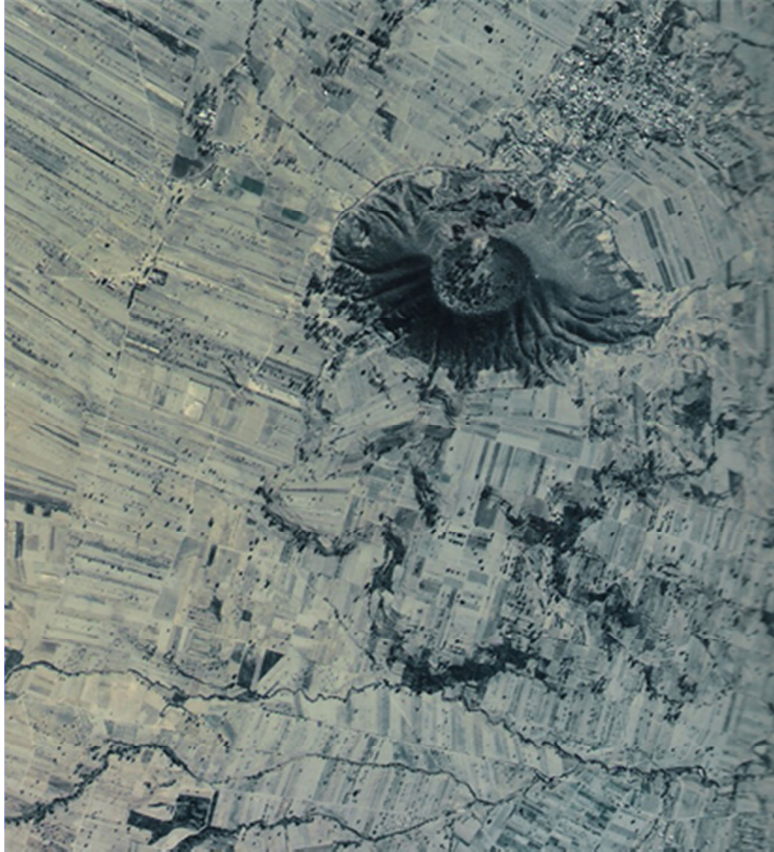
Estructuras volcánicas: estas se encuentran muy difundidas en el territorio de los Estados de Morelos y Puebla. Están representadas por a) conos volcánicos (ver imágenes de satélite 1 y 2), b) flujos de lava tabulares (ver imagen de satélite 3), c) acumulación de tobas y cenizas. El modelado que presentan estos materiales volcánicos son: mesetas horizontales formados por los flujos lávicos (ver fotografías 2 y 4), d) acumulación caótica de materiales de explosión (ver fotografía 5). Los conos volcánicos desarrollan un drenaje radial, ver figura 1.



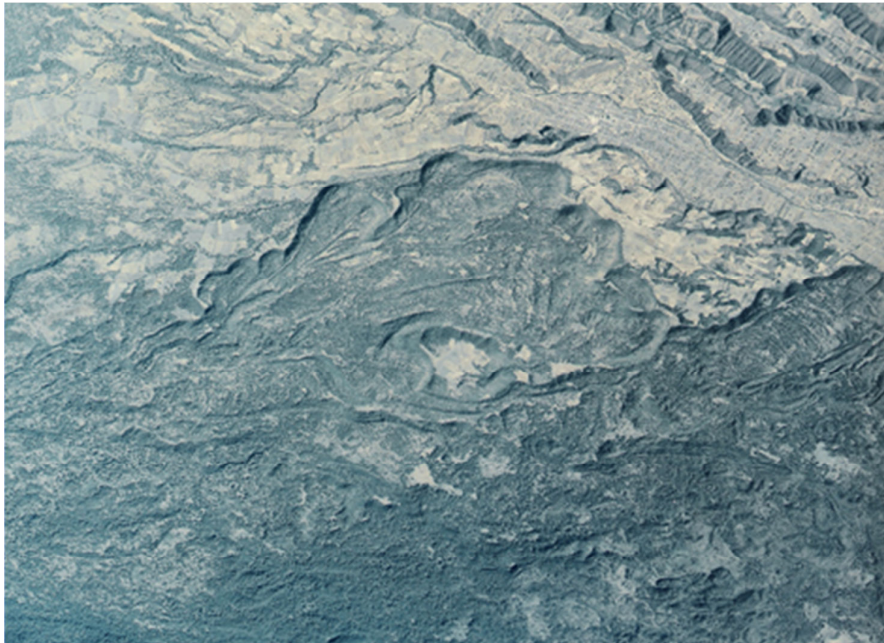
Figura 1. Patrón de drenaje radial, característico de los conos volcánicos. Ver volcán Popocatepetl.



Fotografía 2. Volcán Popocatepetl, visto desde su flanco oriental (flanco Puebla).



Fotografía 3. Volcán región de Calpan, Puebla.



Fotografía 4. Flujos de lava de andesita-basáltica, formando Mesetas horizontales. Nealticán-Santiago Xalitzintla, Puebla. (Fotografía aérea Inegi).



Fotografía 5. Vista del volcán Popocatepetl desde el poblado de Tetela del Volcán, Estado de Morelos.



Fotografía 6. Acumulación caótica de productos de explosión volcánica, en colores claros, cubiertos parcialmente por flujos de lava basáltica, en color negro. Fotografía Inegi. Región sur de la sierra del Chichinautzin, Estado de Morelos.

ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS.

ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS.

Estas se encuentran dispersas por la parte Este, Sur-Este y Sur del territorio estudiado, ver fotografía 8.

Estas tienen sus patrones geomorfológico-estructurales conspicuos, debido a su disposición en estratos (capas) y debido a sus propiedades plásticas sus deformaciones por causas tectónicas (sismicidad especialmente) sus paisajes son redondeados y plegados.

ESTRUCTURAS GEOMORFOLÓGICAS SEDIMENTARIAS.

También se les llaman estructuras estratificadas, debido a que se presentan en estratos o capas, estas se localizan en la parte oriental de la zona prototipo, porción SE del Municipio de Jiutepec y Sur del mismo. Son de edad Cretácico y están cubiertas en un alto porcentaje por cenizas volcánicas. Ver imagen de satélite 1 y fotografías 7. Este tipo de estructuras geomorfológicas, tienen características singulares, entre ellas: a) presentan foliación, es decir se disponen capa sobre capa; b) presentan plegamiento; c) sus paisajes son redondeados. Y su patrón de drenaje es de tipo paralelo, ver figura 2.

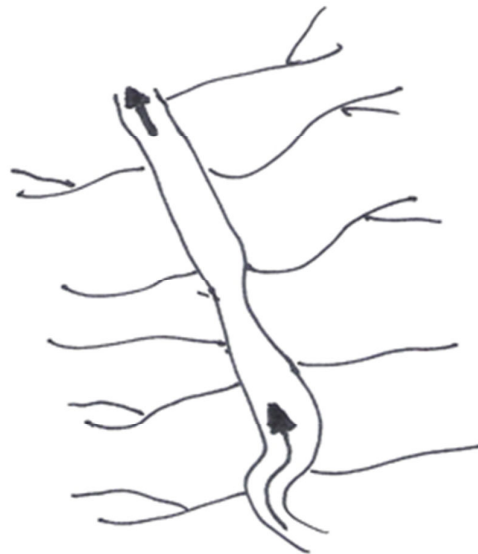


Figura 2. Patrón de drenaje paralelo, típico de las rocas carbonatadas (calizas y dolomitas).



Imagen de satélite 4. Características geomorfológicas clásicas de las rocas sedimentarias (calizas y dolomitas), Región de Jiutepec – Río Yautepec.



Fotografía 7. Se muestra (en colores gris oscuro), dos paquetes de rocas calizas, a ambos lados del río Yautepec. Fotografía aérea Inegi pancromática. Contrástese con la imagen de satélite 1.

Planos Lacustres: El denominado plano o valle de Valsequillo, es una depresión geológico-topográfica, originada por los plegamientos de las rocas sedimentarias del Mesozoico y la actividad magmática, especialmente volcánica Plio-Cuaternaria. Es el centro de captación de las aguas superficiales que son drenadas por el Río Atoyac, el cual captura las aguas superficiales de la denominada cuenca hidrológica del Alto Atoyac. Ver Imágenes de satélite 5, 6 y 7, y fotografías 09 y 10.

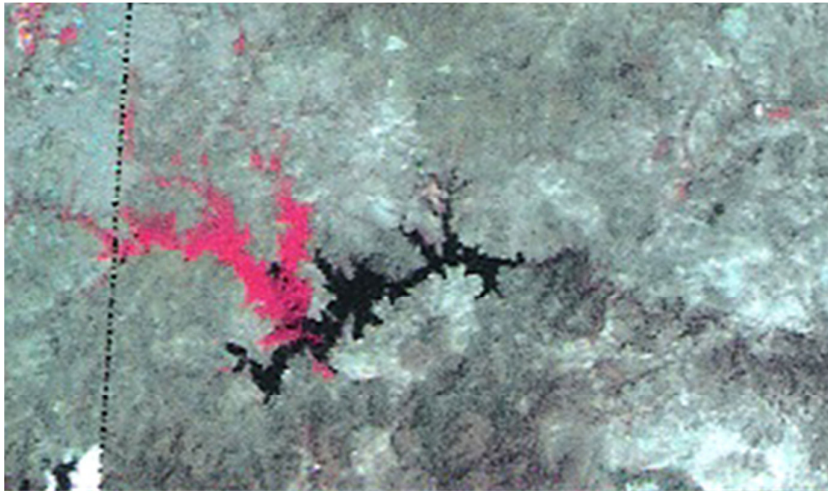


Imagen de satélite 5. Presa de Valsequillo. Estado de Puebla.

Planos Fluviales: Los planos fluviales se forman por el trabajo erosivo de los ríos, ya que estos transportan los sedimentos desde aguas arriba de las cuencas hidrológicas y depositan su carga en las zonas de ruptura de la pendiente regional.

Y es en estas áreas del sistema fluvial que son depositados los sedimentos provenientes de aguas arriba de la cuenca formando así los planos fluviales. Es en estos planos fluviales que desarrollan los ríos meándricos. El Río Atoyac es un río meándrico, ver: Imagen de satélite 6 y fotografías 8, 9 y 10.

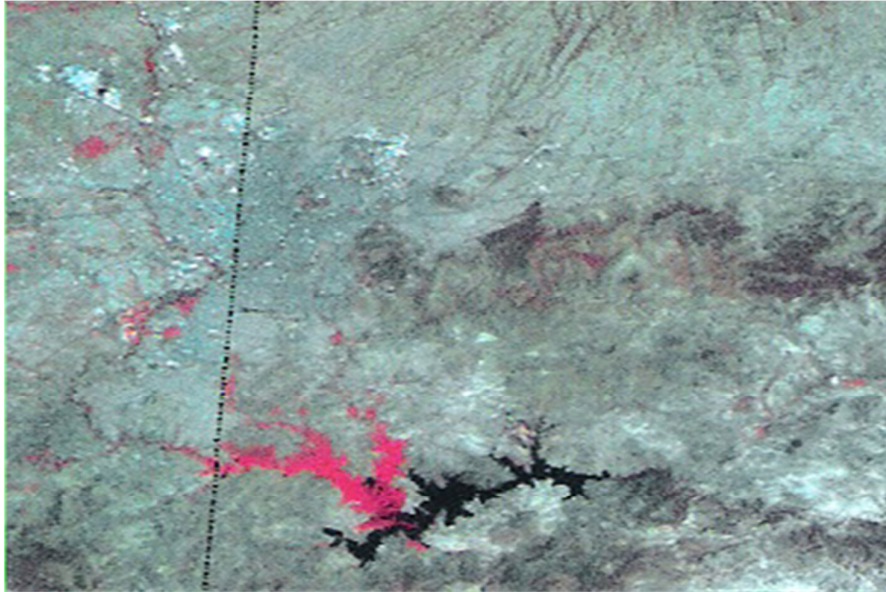
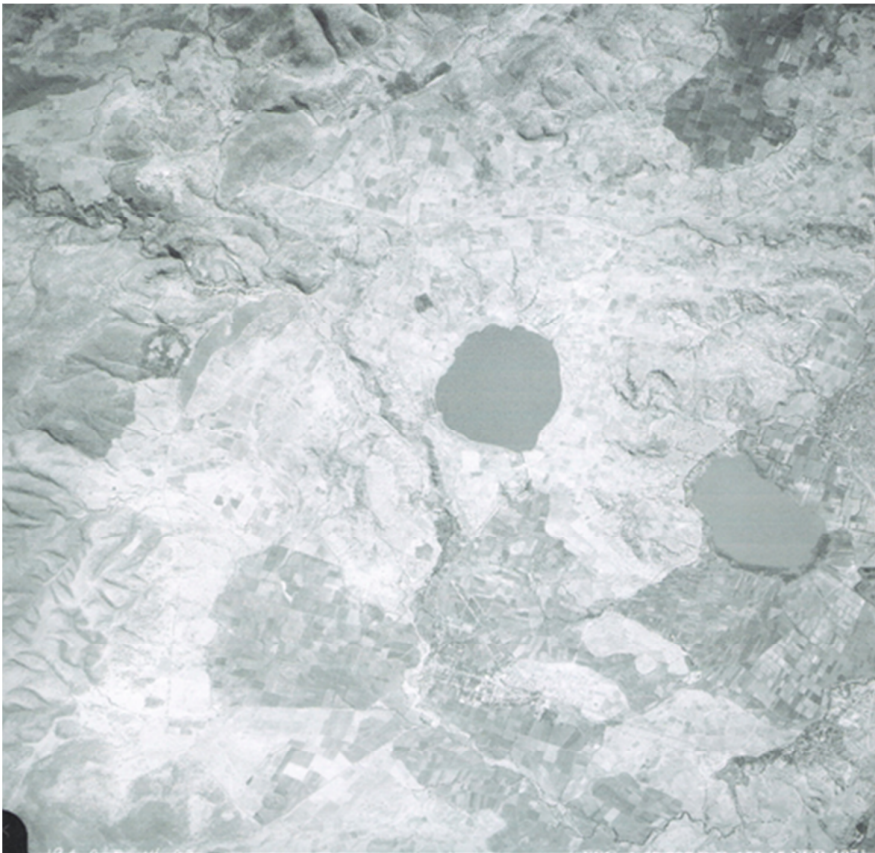


Imagen de satélite 6. A la izquierda de la raya negra, se ve el cauce meándrico del Rio Atoyac, el cual alimenta a la presa de Valsequillo. La coloración roja en el embalse de la presa es por la presencia de lirio acuatico. Y el rojo en el cauce meándrico es por las áreas de cultivo a lo largo de sus terrazas aluviales. Imagen de satélite Landsat TM5.



Fotografía 8. Lagos de Coatetelco y El Rodeo, estado de Morelos.



Imagen de satélite 7. se ven tramos de meándros (curvas en azul) del Río Jiutepec, que corre en el lado Oeste de la ciudad del mismo nombre (a la derecha). Fotografía Conabio.

REOLOGIA.

REOLOGÍA DE LA SUSTANCIA ACTUANTE:

La Tierra se comporta elásticamente a frecuencias altas y viscosamente a frecuencias bajas. Un ejemplo clásico es el flujo de un glaciar, el cual representa el flujo de una sustancia rocosa sólida. Un sólido perfectamente elástico es una idealización conceptual. Los materiales reales tienen imperfecciones estructurales que impiden que se comporten de un modo perfectamente elástico. Incluso para esfuerzos que no son suficientemente grandes para que produzcan un cambio permanente de forma, la deformación total está compuesta de dos partes: una parte elástica proporcional a la carga, y una parte dependiente del tiempo, totalmente irrecuperable, que varía en función de la intensidad y la duración de la carga. Este comportamiento inelástico se puede expresar en función del reajuste de la microestructura del material. El comportamiento inelástico no sólo se presenta en las deformaciones pequeñas; pero cuando un material se deforma permanentemente, los efectos inelásticos quedan absorbidos por el comportamiento plástico.

La palabra reología tiene sus raíces en el griego “rheos” que significa flujo. El conocimiento de las características reológicas de los materiales que conforman la corteza terrestre, es fundamental para el conocimiento y delimitación de: a) las estructuras de recarga de acuíferos, así como de las estructuras susceptibles de contener agua en el subsuelo; b) las propiedades de permeabilidad y porosidad de las rocas y suelos; c) las características de elasticidad y plasticidad; d) las características de viscosidad y soliflucción; e) características de impermeabilidad; f) otras características afines.

Características Reológicas: La reología es la ciencia que estudia las propiedades físicas de los materiales terrestres, en este capítulo se estudiaron las propiedades de: a) ZRA-zonas de recarga de acuíferos; b) ZRAbp-zonas de recarga de acuíferos de bajo potencial; c) PV-plasticidad-viscosidad; d) permeabilidad-porosidad; e) ET-zonas de tremores (sismicidad por causas volcánicas); f) AV- avalanchas; g) RPP- rocas plásticas plegadas; h) D-zonas de deforestación; i) SF- zonas de suelos frágiles; j) PDH-zonas con potencial de deslizamientos-hundimientos; k) I- suelos impermeables; l) zonas de debilidad superficial; m) Aa-abanico aluvial; n) EV-erosión vertical, o) EL-erosión laminar; p) DS-dolinas superficiales; q) C-caliche; r) T-travertinos

Los líquidos se resisten al cambio de volumen pero no de forma; los gases por compresión sólo cambian de volumen y su expansión puede ser infinita. Los sólidos se resisten a cambiar de volumen y de forma, y se resisten a cualesquier cambio. Las presiones que surgen de un cuerpo sólido al deformarlo se llaman “tensiones elásticas”. La forma más simple de deformación de un sólido es por tracción, es decir estas deformaciones pueden ser por compresión y, la otra forma es por tensión. Los ejemplos más representativos en el campo geológico son los plegamientos en las rocas sedimentarias y en las rocas metamórficas y, la formación de las fosas tectónicas. Todas estas deformaciones deben su origen al trabajo de las placas tectónicas.

Todos los materiales terrestres caen bajo el estudio de la reología y éstas características están estrechamente ligadas a la estabilidad o inestabilidad temporal de los bloques de

rocas o de suelos, ya que estos están permanentemente afectados por los procesos geológicos, que lenta pero inexorablemente, los están modificando. Y por consiguiente están muy ligados a los procesos que gobiernan la distribución de los recursos naturales sobre la superficie terrestre y en general en la corteza terrestre.

El análisis y detección de las características reológicas de los materiales pétreos constituyentes de los paisajes involucrados en el territorio de estudio, entre éstas tenemos:

REOLOGÍA DE LAS ROCAS ARCILLOSAS:

Cualquier material en estado de flujo se caracteriza por la viscosidad, la cual tiene el mismo sentido físico que el coeficiente de rozamiento interno. El flujo plástico de las rocas arcillosas comienza con tensiones iguales a 10 a la cuarta hasta 10 a la quinta Pa.

El valor de la viscosidad plástica de las rocas arcillosas disminuye durante el proceso de deformación plástica del material como resultado del quebrantamiento de su estructura inicial. Por esto se debe distinguir la viscosidad inicial **máxima**, (conocida como viscosidad de **Shvedov**) y la viscosidad **mínima** (o de **Bingham**), para conocer los valores intermedios entre éstas, y estas lecturas constituyen lo que se conoce como **viscosidad efectiva**. Y cuando se desarrolla una avalancha o flujo de lodos, en un clásico flujo laminar del material con velocidad constante, en este

Caso la viscosidad efectiva, por sus valores, es igual a la tensión tangencial que debe asegurar dicho flujo laminar. Ver fotografía Aérea 1, e imágenes de satélite 8 y 9.



Fotografía 9. Región de Cuernavaca, Morelos.

Todo el flanco izquierdo está constituido (hasta la mitad de la fotografía 9) por rocas, de la Formación Cuernavaca de Edad Plioceno, que son limolitas, areniscas, conglomerados, lahares interestratificados, cenizas volcánicas, travertino, marga y yeso. La otra mitad de la Foto Aérea está conformada por rocas del Grupo Chichinautzin de

Edad Holoceno y Pleistoceno y está constituida por derrames de lava basáltica a riolacítica con Material volcanoclástico interestratificado. En especial la Formación Cuernavaca es una área propicia (por la presencia de los materiales arcillosos) a las avalanchas de lodo, deslizamientos de paredes y, en general para los llamados flujos laminares.

En la imagen de satélite podemos ver estas mismas formaciones geológicas:



Imagen de satélite 8. Región de Cuernavaca, Morelos. Imagen Landsat en bandas 7, 3, 2.

La formación Cuernavaca (en toda la mitad izquierda de la imagen), la Mitad derecha está ocupada por las rocas que conforman el Grupo Chichinautzin.

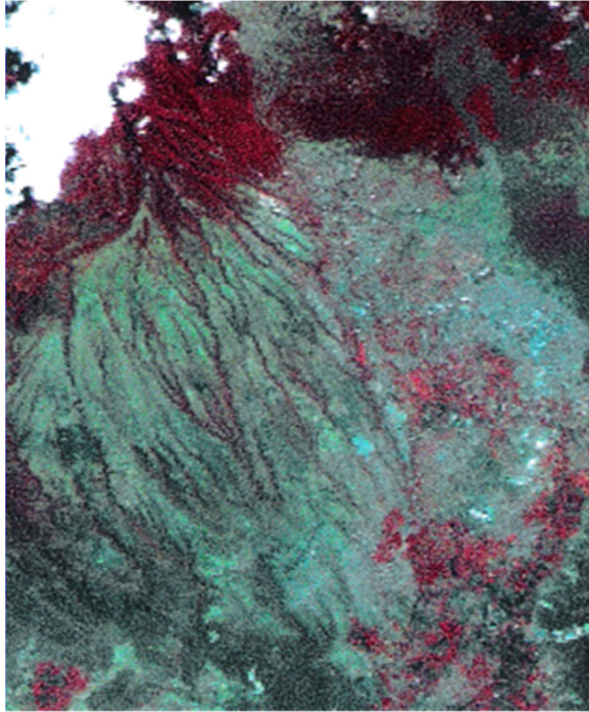


Imagen de satélite 9. Región de Cuernavaca en imagen de satélite Landsat (bandas 4,3, 2).

Misma exposición de la Formación Cuernavaca y del Grupo Chichinautzin. Esta es una estructura Reológica que por su naturaleza de materiales (arcillas, cenizas Volcánicas, conglomerados,...) es propicia para las avalanchas, deslizamiento de capas de suelos, así como por su pendiente fuerte es propicia para los movimientos de gravedad.

La viscosidad de las rocas arcillosas aumenta con el crecimiento de la saturación hídrica y humectación de las rocas y disminuye con el aumento de la densidad. La viscosidad depende también de las particularidades de la estructura y textura de las rocas.

Durante la deformación amortiguada de fluencia plástica crece la viscosidad de las rocas arcillosas. Semejante fenómeno se desarrolla cuando con el tiempo en el proceso de flujo plástico aumenta la densidad de la roca.

La viscosidad de las rocas depende también del factor temperatura. Por ejemplo para el caso de la illita la elevación de la temperatura de 20 hasta 26°C reduce la viscosidad hasta en 30 veces.

También el factor deformación del paquete arcilloso depende de sus condiciones de depósito original, así como de la posición de dichas arcillas en el paquete sedimentario.

Las rocas arcillosas desarrollan un patrón de drenaje denominado dendrítico, el cual se muestra en la figura 3, y se encuentran junto con el patrón de drenaje dicotómico, el cual por la naturaleza del origen de la Formación Cuernavaca, éste último patrón de drenaje dicotómico es característico de la mayoría de los abanicos aluviales, avalanchas de lodo, depósitos de pie de monte y se caracteriza porque varios canales divergentes corren sobre la superficie de estas estructuras geomorfológicas desde un punto central. Ver figura 3.



Figura 3. Patrón de drenaje dendrítico, el cual se desarrolla en los paquetes de rocas arcillosas.

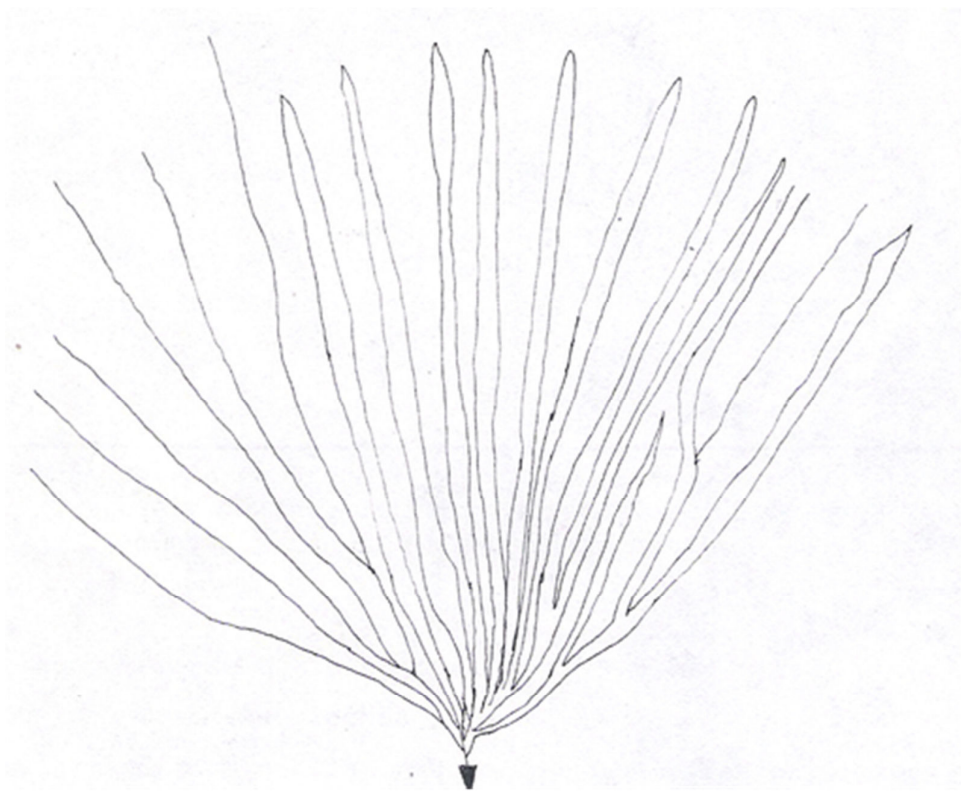


Figura 4. Patrón de drenaje dicotómico, este se desarrolla en los materiales de: avalanchas de lodo; abanicos aluviales; depósitos de talud o conocidos también éstos últimos como depósitos de pie de monte.

REOLOGÍA GENERAL DE LAS ROCAS SEDIMENTARIAS:

Los minerales de las rocas sedimentarias tienen diversos orígenes. Unos deben su origen a la descomposición mecánica, de las rocas pre-existentes, por esta razón se les llama rocas clásticas o también se les llama rocas detríticas; otros minerales sedimentarios se

deben a la descomposición química y/o bioquímica de las sustancias minerales de otros materiales rocosos de los cuales se han derivado, En general podemos decir que las rocas clásticas componen la masa fundamental de las llamadas rocas sedimentarias.

Entre las rocas sedimentarias están ampliamente difundidas las rocas que están constituidas por un solo mineral.

Textura de las rocas sedimentarias:

La característica más importante de esta textura es la estratificación y, ésta puede ser: paralela; lenticular; cuneiforme; y rocas no estratificada de textura masiva. En general cada capa o estrato de la pila de rocas, al ser estudiados, debe ser diferenciado ya que cada estrato es independiente de los estratos que lo suprayacen y de los que lo subyacen. **Las superficies de separación de las capas o estratos son superficies de debilitamiento de las pilas de rocas sedimentarias, ya que entre capa y capa se tiene un material que puede ser arcillosos, arenoso,....** Y estos interestratos facilitan el corrimiento por hidratación, expansibilidad, o porque los vegetales introducen sus raíces. De igual modo cuando hay alternancia de estratos, p. ej. Calizas – rocas arcillosas- areniscas- conglomerados, los paquetes de cada tipo de rocas son deformables de acuerdo a la naturaleza de elasticidad, plasticidad y/o compactación y rigidez de cada uno de los estratos. Y estas propiedades dependen de la naturaleza mineralógica de cada uno de estos estratos, de su modo de yacimiento y de su posición en el conjunto.

Los índices estructurales genéticos de las rocas sedimentarias:

Estos sirven de base para distinguir tres grupos de rocas sedimentarias a) rocas clásticas o detríticas (incluidas las rocas piroclásticas); b) rocas arcillosas y, c) rocas químicas y las bioquímicas.

La estructura de las rocas clásticas se caracteriza por su granulometría, forma y grado de redondez de los sedimentos.

REOLOGÍA DE LAS ROCAS CARBONATADAS (CALIZAS Y DOMITAS):

Los minerales más importantes que forman las rocas carbonatadas son la calcita (carbonato de calcio) y la dolomita (carbonato doble de calcio y magnesio), también existen los sulfatos de calcio (yeso y anhidrita) y las arcillosas de carbonato. Por la mezcla de carbonatos con arcillas se forman las llamadas margas (calizas arcillosas).

Las rocas carbonatadas por su estructuración pueden ser: oolíticas; cristalogramulares; clásticas; doliniticas. Su constitución por su forma de yacimiento pueden ser: de estratos finos; estratos gruesos y, de estructura maciza compacta. Esta última por su naturaleza compacta y masiva es altamente fisurable y/o fracturable y por lo mismo frecuentemente desarrolla paisajes kársticos.

Porosidad de las rocas carbonatadas:

La porosidad de las rocas carbonatadas tiene márgenes amplios que van desde un 10% hasta un 35%. Esto depende de su estructura durante el proceso de cristalización, o de deposito, es decir, pueden ser: a) microgranular y/o microcristalinas; b) grano grueso y/o macrocristalinas; c) clástico-lodosas; d) brechoides; e) coquinas (formadas por

depósito de caparazones de moluscos fósiles); f) kársticas. La cristalización, la karstificación y la formación de brechas aumentan la porosidad hasta un 15%.

Elasticidad, plasticidad y caracteres de compresibilidad/deformidad de los paquetes carbonatados:

Las calizas de composición microgranular (microcristalinas), de granos finos, son de una resistencia mecánica a la compresión muy alta. En contraste la resistencia a la deformación mecánica de las rocas carbonatadas de grano grueso en especial las brechas y las clástico-lodosas disminuye por su propia naturaleza.

Con el aumento del contenido de arcillas en la composición de las rocas carbonatadas, se tiene un aumento en el reblandecimiento y una reducción de la resistencia a los procesos deformantes en los paquetes carbonatados. De igual modo la presencia de fracturas y/o fisuras, de fallas geológicas y microfracturamiento, todos estos factores geológicos disminuye la resistencia a las deformaciones mecánicas de los paquetes de rocas carbonatadas.

Las margas tienen un elevado grado de reblandecimiento por vibración (durante los sismos) o por hidratación (tienen una alta capacidad de aumentar su volumen y de contracción). Las margas tienen un comportamiento muy cercano al de las arcillas en general. Los parámetros de elasticidad también se encuentran en dependencia de la microfisuración. Esta microfisuración debilita enormemente a los paquetes carbonatados y los deja en condición de fragilidad. En el paquete carbonatado, las margas generalmente aparecen fracturadas y dispuestas en placas finas. Cuando éstas se desecan sufren agrietamientos **y forman taludes conglomeráticos de alta movilidad, es decir, desarrollan flujos laminares.** Con el aumento de sedimentos areno-arcillosos se reduce la porosidad y la densidad se incrementa y en general con el aumento del volumen arcilloso los materiales se vuelven altamente plásticos (deformables) y dispuestos para el deslizamiento.

La dolomita, que es un carbonato doble de calcio y magnesio, aloja bolsas de aire, por lo mismo tiende a desarrollar desmoronamientos y deslizamientos de paredes montañosas. Además es una roca muy blanda. La dolomita tiene partes duras y partes blandas y esto la vuelve derrumblable.

En la estratificación de los paquetes carbonatados participan diferentes tipos de arcillas, areniscas, conglomerados, gravas, brechas, y participan como materiales cementadores, generalmente interestratificados y estos influyen en los comportamientos elásticos, plásticos y de compresión de todo el paquete y/o parcialmente en las estructuras pequeñas. Ver fotografía aérea 10):



Fotografía 10. Cauce del río Yautepec, estado de Morelos.

A la extrema derecha se ve el Cauce del río Yautepec, en la parte central de la fotografía Se ven los paquetes litológicos de calizas de las Formaciones Cuautla –KCS- (edad cretácico Superior), esta Formación es el paquete más prominente (constituido por caliza con estratificación de gruesa a delgada con lentes y nódulos de pedernal y fósiles silicificados). Y la Formación Morelos –KIM-(Cretácico Inferior) esta Formación en la fotografía se identifica porque parece un escalón a lo largo de la parte izquierda (constituida por caliza y dolomita, interestratificados. Localmente con anhidrita en la parte inferior con abundancia de miliólidos y rudistas.

Deslizamiento de paredes montañosas y de tierras:

Los llamados deslizamientos de paredes montañosas y de tierras, son un tipo de procesos naturales que se desarrollan durante los eventos extremos ciclónicos; sísmicos o por los efectos de la gravedad.

La propiedad cinemática principal de los deslizamientos de paredes montañosas y de tierras, es el resbalamiento por deslizamiento de los materiales previamente preparados por los procesos de los intemperismos físico, químico y biológico.

Las condiciones fundamentales para el desplazamiento, pendiente abajo, de los materiales rocosos son:

- a) Intemperización de los materiales litológicos por efecto humectación, lixiviación de filtración y osmótica.
- b) el aumento del gradiente hidráulico y de las velocidades de filtración de las aguas subterráneas al elevarse el nivel de las aguas subterráneas después de los periodos excepcionales de precipitación pluvial.
- c) El corte de la base de la pendiente por el derrubio fluvial y la pérdida de apoyo en la base de la misma pared montañosa.
- d) La sobrecarga de la pendiente por las acumulaciones de agua durante los procesos extraordinarios de precipitación pluvial.

Los corrimientos de tierras causan cambios importantes en el relieve y en las estructuras geomorfológicas de las laderas montañosas al suavizar y ampliarlas. En la ladera se forma una oquedad, a la cual llamamos circo de deslizamiento, delimitado por una pared casi vertical que será desprendida tarde o temprano. Este circo está constituido por escalones concéntricos de corrimiento. Estos son fáciles de reconocer en el terreno porque si existen árboles, **estos se encuentran con una marcada inclinación**. A estos árboles se les conoce con el nombre de **vegetación borracha**.

La fase inicial de los deslizamientos les preceden deformaciones plásticas, las cuales transcurren lentamente y, las causales principales de estos deslizamientos son la presencia importante, generalmente, de arcillas expansivas.

Permeabilidad y Porosidad de las rocas involucradas. La permeabilidad de una manera general la definimos como el estudio del flujo de fluidos en medios porosos. Partiendo de la base de que los suelos son un paquete de sedimentos, depositados por la acción de los procesos de erosión y transporte, y/o bien son formados “in Situ” por la acción del intemperismo químico y del intemperismo físico. De tal modo que en los paquetes de suelos existen poros interconectados entre si que permiten el flujo de fluidos, entre ellos el agua y los gases. También esta filtración de agua se desarrolla a través de las fisuras del suelo y de los paquetes rocosos.

También en los complejos litológicos de baja permeabilidad por su compacidad, tienen permeabilidad por su sistema de fallas y fracturas, y sobre todo por la intensidad de fracturación y por la interconexión entre ellas. El desarrollo de flujo y drenaje en un paquete litológico compacto, por ejemplo en los flujos de rocas volcánicas, especialmente en los basaltos; en las rocas graníticas,..., son los sistemas de fallas y fracturas los que controlan la permeabilidad.

Por la misma naturaleza de los suelos, los cuales son depositados generalmente de una manera caótica- es decir sin clasificación granulométrica- entonces el paso del agua que se filtra debe sortear bastantes obstáculos ya que su viaje es a través de sedimentos de diferente granulometría, por lo mismo en este proceso se producen pérdidas de carga hidráulica.

Los medios propicios para que el flujo sea favorable depende básicamente de la granulometría de los suelos, de tal forma que será en los suelos conglomeráticos (sedimentos redondeados con un diámetro mayor a 2 cm hasta varios cm de diámetro); arenosos (las arenas tienen diámetros desde 1/236 mm hasta 2 cm), los gravosos (las gravas son sedimentos angulosos que equivalen en diámetros a los conglomerados), por

sus diámetros considerables, nos formarán también poros, entre partículas, de dimensión considerable y entonces el agua fluirá fácilmente a través de ellos, y de igual modo las pérdidas de carga hidráulica serán menores.

Cuando los sedimentos son de diámetros muy grandes, de decenas de cm hasta varios metros de diámetro, estos constituyen los llamados cantos rodados. Generalmente estos se encuentran en las llamadas avalanchas de piedras, ver Imágen de satélite 8, de la región ubicada al oeste de la Ciudad de Cuernavaca, es parte del complejo volcánico denominado Sur de la Sierra del Chichinautzin, Morelos. Su geomorfología es muy sobresaliente porque es de arroyos largos, ésta tiene una coloración blanquecina.



Imagen de satélite 10. Lagunas de Coatetelco y El Rodeo.

En la imagen de satélite 10, se observa al NW de los lagos de Coatetelco y El Rodeo un manchón de color blanco, alargado, que es un depósito de avalancha. Y al Oeste de estos mismos lagos se observa y al Oeste del lago de Tequesquitengo, también de color blanco, los procesos de erosión y depósitos de avalanchas.

Cuando tenemos suelos de sedimentos finos-arcillas y limos y/o cenizas volcánicas- el tamaño de las partículas es muy pequeña, sus diámetros son menores a $1/256$ de mm y, por consiguiente sus poros son supremamente pequeños. Debido a esto tenemos en este tipo de suelos arcillosos, una permeabilidad y porosidad muy bajas, y es por eso que, aunque no lo son, se consideran impermeables debido a que tienen capacidad de saturarse de agua pero su transmisibilidad es bajísima.

La porosidad se define por el número de huecos o de poros en los materiales estudiados, por la naturaleza de los materiales involucrados, tenemos una predominante presencia de materiales arenosos – conglomeráticos, también se presentan avalanchas de piedras, región de Temisco, estado de Morelos, donde la retención del agua es escasa o nula, ya que éstas es filtrada a las capas inferiores. Esta característica de porosidad es

fundamental para conocer las áreas de roca que por su naturaleza tienen propiedades de filtración al subsuelo (recarga de acuíferos). Ver fotografías 11 y 12.



Fotografía 11. Avalancha de piedras, en el flanco Sur del complejo volcánico. Sitio “El Pinar”, véase el diámetro de los fragmentos rocosos.



Fotografía 12. Aglomerado en la base del volcán Popocatepetl, región de Santiago Xalitzintla, Puebla.

Impermeabilidad. Esta propiedad se puede presentar de manera natural cuando las rocas son arcillosas, o bien que por procesos secundarios hayan adquirido esta particularidad.

Cuando tenemos suelos de sedimentos finos-arcillas y limos y/o cenizas volcánicas- el tamaño de las partículas es muy pequeña, sus diámetros son menores a 1/256 de mm y,

por consiguiente sus poros son supremamente pequeños. Debido a esto tenemos en este tipo de suelos arcillosos, una permeabilidad y porosidad muy bajas, y es por eso que, aunque no lo son, se consideran impermeables debido a que tienen capacidad de saturarse de agua pero su transmisibilidad es bajísima. Otra característica importante de los paquetes arcillosos es que son suelos expandibles (hinchamiento), muy deformables por saturación de agua y/o por acción sísmica, ya que aumentan su volumen. En especial la arcilla denominada montmorillonita tiene la capacidad de aumentar su volumen original hasta 15 veces. Pero de igual modo en épocas de estiaje éstos paquetes arcillosos se contraen por deshidratación. Son materiales muy difíciles de trabajar ingenierilmente hablando. Ver fotografía 13.



Fotografía 13. Paquete arcillosos-arenoso, aquí se observa la plasticidad de las arcillas deformadas por aplastamiento, a manera de un sándwich, ocupan la parte media del paquete. Región de la Sierra del Tenzo, Puebla.

Plasticidad. La plasticidad es deducible por la granulometría de los suelos y rocas, ya que proporcionan, casi de manera directa una aproximación válida acerca de esta propiedad de los materiales expuestos “in situ”. Esta propiedad se presenta en todos los materiales terrestres, pero es en especial más distinguible en las arcillas, cenizas volcánicas, en las rocas carbonatadas (calizas) que en muchos de los casos podemos ver los plegamientos anticlinales y sinclinales y/o también los cabalgamientos de estructuras cuando estos existen. En cada uno de los casos y de manera muy especial son las arcillas y las cenizas volcánicas las que presentan características muy importantes de deformación ante los esfuerzos tectónicos actuantes, especialmente bajo los efectos de los fenómenos sísmicos, y que pueden ser detectadas de manera especial en las denominadas zonas de debilidad superficial, ver plano de geología ambiental, es decir son rocas susceptibles a los efectos deformantes de los suelos, así como a los deslizamientos de suelos y de paredes montañosas, ver fotografía 14.

Viscosidad - Licuefacción. La viscosidad es una propiedad de transporte. En los procesos de transporte alguna cantidad física se transporta de una región a otra en el

sistema. La cantidad transportada puede ser energía, carga eléctrica, momento lineal. En todos estos casos el flujo o transporte ocurre a través de una superficie, en un periodo de tiempo. Por lo tanto, la viscosidad también pertenece a la rama de la cinética o dinámica.

La viscosidad de los líquidos tiene que ver con la transferencia de impulso lineal (momento o momentum), cuando una fuerza externa es aplicada al líquido. La fuerza aplicada hace que el líquido se mueva y de ahí que podamos decir que la viscosidad es como una "resistencia o fricción interna" que se opone a la fuerza aplicada. Es de esperarse que la viscosidad de un líquido dependa de la temperatura. Encontramos, de hecho, que la viscosidad de los líquidos disminuye al disminuir la temperatura. También encontramos que podemos relacionar la viscosidad con las fuerzas intermoleculares en los líquidos, con los tamaños de las moléculas y con otros factores estructurales propios de las moléculas del líquido. Esto mismo sucede cuando un paquete de materiales arcillosos, y con alguna pendiente significativa, se satura de agua, entonces tenemos un material que actúa como un líquido, es decir adquiere licuefacción, es decir, tenemos deslizamientos intergranulares que provocan **avalanchas**. En especial los paquetes de la arcilla llamada montmorillonita (ésta tiene la capacidad de aumentar hasta 15 veces su volumen original por saturación de líquidos o por sismicidad), es una arcilla extremadamente expansiva. De allí que es la viscosidad la causante del **flujo laminar** (erosión laminar). En este patrón de deslizamiento por flujo laminar, es un deslizamiento diferencial de unas capas sobre otras, se mueven en láminas pendiente abajo.

Los estudios de detección de los paquetes de rocas y/o suelos que pueden tener propiedades de adquirir plasticidad-viscosidad, son de gran utilidad en la ingeniería de suelos, geotecnia, en estabilización de taludes en obras y desarrollos mineros, en vías terrestres, construcciones de ingeniería civil, en la prevención de desastres naturales y los tecnológicos, En especial son la prevención y/o mitigación de las inundaciones, las que al menos en nuestro país nos han causado enormes daños.

La viscosidad, por lo mismo, es una propiedad física interna que adquieren los líquidos y gases contenidos en los materiales pétreos, y esto puede suceder por varias razones, entre ellas: a) bajo la influencia de un flujo sísmico (por vibración) y/o por saturación de agua, más el efecto gravitatorio, ocurre un deslizamiento entre las moléculas del líquido y esto genera un deslizamiento entre partículas minerales (sedimentos) y/o entre capas o estratos de sedimentos, ocasionando un flujo de materiales cuesta abajo desde las zonas topográficamente más altas. Es decir, se genera un flujo laminar de sedimentos, a los que conocemos con los nombres de flujos de lodo; avalanchas; lahares (cuando son de origen volcánico y a su estructura geomorfológica se le denomina como y/o abanico aluvial, o lahar, respectivamente. Este tipo de procesos en la Carta de Geología Ambiental están señalados como (EL= erosión laminar; Av= avalanchas; FL= flujo de lodos), y se pueden desarrollar en las áreas donde se encuentran suelos con alto contenido de arcillas y cenizas volcánicas o están muy afectados por los procesos del intemperismo químico y/o del intemperismo físico. Ver Carta de Geología Ambiental.

La licuefacción. En la Carta de Geología Ambiental, se pueden localizar las áreas en donde se pueden producir estos fenómenos geológicos bajo el símbolo de P-V (plasticidad – viscosidad). En el término viscosidad se incluyen los procesos de licuefacción. Esta se produce especialmente durante los eventos sísmicos de gran

intensidad, de manera especial en sedimentos de granulometría fina y/o sueltos, es decir, en cenizas volcánicas, arcillas, limos y arenas finas.

Cuando un material granular, los que generalmente tienen una gran porosidad, se satura de agua, estos pueden ser transformados desde un

estado sólido a uno de fluencia (líquido) llamado licuefacción. Este se debe a un aumento en la relación de presión (porosidad-agua) que causa aumento de volumen de los materiales y una vibración volumétrica. Estos paquetes de sedimentos, generalmente no cementados, tienen una gran porosidad y por lo mismo son sensibles a sufrir deslizamientos.

De igual forma los sismos causan licuefacción cerca de la superficie, especialmente en paquetes de suelos arcillosos y arenas ya que les imprimen un cambio de volumen (alargamiento, contracciones,...), entre otros procesos naturales. Cuando los terremotos son de gran duración, estos generan deformaciones verticales, cambios topográficos regionales (elevaciones y subsidencias)

También las erupciones volcánicas, y de manera especial durante las erupciones peleeanas, se pueden producir deslizamientos de paredes montañosas, avalanchas de piedras, lahares, todos estos de grandes volúmenes y de velocidades de deslizamiento altas, por lo mismo pueden esparcirse en grandes distancias.

Los eventos sísmicos, de igual modo, producen movimientos de todos los tipos en las laderas montañosas, entre estos fenómenos tenemos : avalanchas, flujos de lodos, reptación de paredes montañosas, caída de grandes bloques, formación de aglomerados (volcánicos), formación de los llamados ríos de piedras (avalanchas de piedras). En especial los movimientos de licuefacción se desarrollan en los materiales finos, e inclusive en zonas bajas de los valles, cuando el contenido de limos y arcillas es grande, ya que estos materiales son bastante expandibles y por lo mismo muy deformables.

Soliflucción. También estos procesos señalados pueden ser causados por: a) humectación e hidratación o bien por desecamiento de los paquetes arcillosos y de cenizas volcánicas; b) por disolución o cristalización de suelos salinos (suelos con caliche en nuestra zona de estudio), ver fotografía # 21); c) por engrosamiento o desecamiento de las raíces, en especial de las masas arboladas; o por saturación de agua en los suelos. A estos procesos se les conoce como soliflucción.

Actividades Antropogénicas. Las acciones antropogénicas son de los factores muy importantes que transforman el equilibrio de fuerzas en la geoarquitectura del paisaje. Las obras humanas cuando no toman en cuenta la naturaleza y propiedades reológicas de los materiales terrestres, provocan cambios en las estructuras de: a) los suelos, b) las pendientes de las paredes topográficas; c) en las micro-estructuras geológicas (dolinas, suelos no consolidados, zonas de micro-fracturamiento y micro-fallamiento intenso), d) zonas de litología mixta, e) zonas de grandes espesores arcillosos, f) zonas de debilidad superficial, entre otros factores relacionados. Pero de una manera muy especial son los cambios provocados en las condiciones geohidrológicas superficiales y subterráneas, las que afectan de una forma directa a las condiciones de sustentabilidad en los ecosistemas urbanos y en los ecosistemas rurales, al cambiar los niveles freáticos, las zonas de recarga de los acuíferos y los flujos de escorrentía superficial.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Es notable la utilidad potencial que la interpretación de imágenes para la identificación de las propiedades del terreno, que a su vez se requiere para identificar riesgos potenciales, tanto en tipo y magnitud. Es claro y obvio considerar que la información deberá verificarse directamente en el sitio, pero su aplicación en las primeras etapas de un proyecto aseguran un sitio adecuado y una visión general muy clara de las condiciones de la zona.

Por lo anterior se recomienda utilizar esta técnica en las primeras etapas de un proyecto e identificar varias opciones del sitio, así como de los probables riesgos asociados. Con base en estos resultados, proponer los estudios específicos requeridos para el proyecto. Podría interpretarse que los estudios básicos, como los topográficos, geológico, hidrológicos, etc., se substituirían con esta técnica, sin embargo, lo que se propone es integrarla como una herramienta complementaria para hacerlos mas eficientes y efectivos.

Se propone integrar esta técnica para incluirla en la metodología general en la elaboración de mapas para el manejo de riesgos en grandes obras hidráulicas.

INFORMACIÓN RELEVANTE RECOPIADA

□ GUÍA BÁSICA PARA LA ELABORACIÓN DE ATLAS ESTATALES Y MUNICIPALES DE PRELIGROS Y RIESGOS

CONCEPTOS BÁSICOS SOBRE PRELIGROS, RIESGOS Y SU REPRESENTACIÓN GEOGRÁFICA.

1ª edición, noviembre 2006

©SECRETARÍA DE GOBERNACIÓN. Abraham González Núm. 48, Col. Juárez, Deleg. Cuauhtémoc, C.P. 06699, México, D.F.

©CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN DE DESASTRES

Av. Delfín Madrigal Núm. 665, Col. Pedregal de Santo Domingo, Deleg. Coyoacán, C.P.04360,

Autores:

Lineamientos generales para la elaboración de Atlas de Riesgos

Enrique Guevara Ortiz, Roberto Quaas Weppen y Georgina Fernández Villagómez

Aspectos geográficos y tecnológicos

Oscar Zepeda Ramos, Edgar Muñoz Hernández y Lucrecia Torres Palomino

□ GUÍA BÁSICA PARA LA ELABORACIÓN DE ATLAS ESTATALES Y MUNICIPALES DE PRELIGROS Y RIESGOS

EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD FÍSICA Y SOCIAL.

1ª edición, noviembre 2006

©SECRETARÍA DE GOBERNACIÓN. Abraham González Núm. 48, Col. Juárez, Deleg. Cuauhtémoc, C.P. 06699, México, D.F.

©CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN DE DESASTRES

Av. Delfín Madrigal Núm. 665, Col. Pedregal de Santo Domingo, Deleg. Coyoacán, C.P.04360,

Autores:

Evaluación de la Vulnerabilidad de la Vivienda ante Sismo y Viento

Leonardo Flores Corona, Oscar López Bátiz, Miguel Angel Pacheco Martínez, Carlos Reyes Salinas y Darío Rivera Vargas

Vulnerabilidad Social

Norlang García Arróliga, Rafael Marín Cambranis y Karla Méndez Estrada

□ GUÍA BÁSICA PARA LA ELABORACIÓN DE ATLAS ESTATALES Y MUNICIPALES DE PRELIGROS Y RIESGOS

FENÓMENOS GEOLÓGICOS.

1ª edición, noviembre 2006

©SECRETARÍA DE GOBERNACIÓN. Abraham González Núm. 48, Col. Juárez, Deleg. Cuauhtémoc, C.P. 06699, México, D.F.

©CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN DE DESASTRES

Av. Delfín Madrigal Núm. 665, Col. Pedregal de Santo Domingo, Deleg. Coyoacán, C.P.04360,

Autores:

Integración de información para la estimación del peligro sísmico

Carlos Antonio Gutiérrez Martínez

Elaboración de mapas de peligros volcánicos

Alicia Martínez Bringas, Ángel Gómez Vázquez y Servando De la Cruz-Reyna

Metodología para la evaluación de peligros por cenizas volcánicas

Alicia Martínez Bringas y Ángel Gómez Vázquez

Metodología para la evaluación de peligros por lahares

Alicia Martínez Bringas, Ángel Gómez Vázquez y Teófilo Hernández Alcántara

Estimación de la amenaza y el riesgo de deslizamientos en laderas

Manuel J. Mendoza López y Leobardo Domínguez Morales

□ GUÍA BÁSICA PARA LA ELABORACIÓN DE ATLAS ESTATALES Y MUNICIPALES DE PRELIGROS Y RIESGOS

FENÓMENOS QUÍMICOS

1ª edición, noviembre 2006

©SECRETARÍA DE GOBERNACIÓN. Abraham González Núm. 48, Col. Juárez, Deleg. Cuauhtémoc, C.P. 06699, México, D.F.

©CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN DE DESASTRES

Av. Delfín Madrigal Núm. 665, Col. Pedregal de Santo Domingo, Deleg. Coyoacán, C.P.04360,

Autores:

Identificación de peligros y riesgos químicos

Rubén Darío Rivera Balboa, María Esther Arcos Serrano, Cecilia Izcapa Treviño y Enrique Bravo Medina

Identificación y evaluación de sitios contaminados

Cecilia Izcapa Treviño, María Esther Arcos Serrano, Liliana Bernabé Espinosa,
Rubén Darío Rivera Balboa y Enrique Bravo Medina

Estimación simplificada de la amenaza por incendio forestales

Edgar Arturo Muñoz, Lucrecia Torres, Oscar Zepeda, Erandi Andrade y Liliana
López

□ GUÍA BÁSICA PARA LA ELABORACIÓN DE ATLAS ESTATALES Y
MUNICIPALES DE PRELIGROS Y RIESGOS

FENÓMENOS HIDROMETEOROLÓGICOS

1ª edición, noviembre 2006

©SECRETARÍA DE GOBERNACIÓN. Abraham González Núm. 48, Col.
Juárez, Deleg. Cuauhtémoc, C.P. 06699, México, D.F.

©CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN DE DESASTRES

Av. Delfín Madrigal Núm. 665, Col. Pedregal de Santo Domingo, Deleg.
Coyoacán, C.P.04360,

Autores:

Elaboración de mapas de riesgo por inundaciones y avenidas súbitas en zonas
rurales, con arrastre de sedimentos

Héctor Eslava Morales, Martín Jiménez Espinosa, Marco Antonio Salas Salinas,
Fermín García Jiménez, María Teresa Vázquez Conde, Carlos Baeza Ramírez y
David R. Mendoza Estrada

Elaboración de mapas de riesgo por inundaciones costeras por marea de
tormenta

Óscar Arturo Fuentes Mariles, Lucía Guadalupe Matías Ramírez, Martín
Jiménez Espinosa,

David Ricardo Mendoza Estrada y Carlos Baeza Ramírez

Análisis del peligro y vulnerabilidad por bajas temperaturas y nevadas

Martín Jiménez Espinosa, Lucía Guadalupe Matías Ramírez, Fermín García
Jiménez, María Teresa Vázquez Conde, David Ricardo Mendoza Estrada y
Stefanie Renner

Identificación de trayectorias de ciclones tropicales mediante el uso del
programa de cómputo “Busca Ciclones”

Martín Jiménez Espinosa y Carlos Baeza Ramírez