
el volcán chichón

Por Francisco Medina M.
Instituto de Geofísica, UNAM

Autores

El presente artículo se elaboró con base a los diversos informes técnicos y boletines publicados por el Instituto de Geofísica de la UNAM. En la elaboración de los mismos participaron: Por el Área de Vulcanología: S. de la Cruz-Reyna (Coordinador), J.M. Espíndola, T. González-Morán, F. Medina y M. Mena; por el Área de Sismología: R. Mota (Coordinador), Z. Jiménez y J. Yamamoto, M. Calleja, L. Contreras, V.H. Espíndola, J. Gamboa, L. González, C. Jiménez, C. López, E. López, F. Núñez, L. Quintanar, J. Rivera y R. Ruiz; por el Área de Geología: A. Martín.

Introducción

El Volcán Chichón inició un periodo de actividad explosiva violenta el pasado 28 de marzo. Con objeto de contar con los estudios necesarios que permitan evaluar el comportamiento futuro del volcán y establecer un programa de vigilancia, el Instituto de Geofísica de la UNAM ha estado llevando a cabo una serie de mediciones y observaciones geofísicas en el área.

Para el desarrollo de los diversos trabajos de investigación, el Instituto ha contado con el apoyo de Petróleos Mexicanos, de la Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas y de la Secretaría de la Defensa Nacional. Algunos aspectos se están realizando con la colaboración del Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares, así como del Consejo de Recursos Minerales de México y del Instituto de Ingeniería de la UNAM.

Los estudios que se están llevando a cabo comprenden los aspectos sismológicos, gravimétricos, magnetométricos, químicos y físicos de las diferentes fases eruptivas del volcán; dichos estudios se encuentran actualmente en desarrollo y serán publicados próximamente en revistas científicas especializadas. Asimismo, se está implementando un programa de vigilancia el cual contempla a mediano plazo la instalación de un observatorio vulcanológico.

El área de influencia de los fenómenos eruptivos del volcán se encuentra situada en la parte

norte de Chiapas y sur de Tabasco (figura 1), región habitada por el grupo étnico zoque, que fue quien resintió fuertemente los efectos de las erupciones volcánicas. Un área aproximada de 250 km² fue totalmente devastada dando como consecuencia un severo daño a la exuberante vegetación tropical y a la fauna de tipo selvática; ésta última presenta pocas posibilidades de regeneración a corto plazo.

El área cercana al volcán presentaba gran abundancia de una especie de palma, *Astrocaryum Mexicanum* Lieb, cuya fruta es denominada chichón; motivo por el cual se le denomina Chichón o Chichonal al volcán. Cabe señalar que el nombre oficial asignado en el Catálogo de Volcanes activos del mundo, publicado en 1958, es el de Chichón.

Localización y características generales

El volcán Chichón es un estratovolcán, edificado por capas de lava y material piroclástico (ceniza) intercaladas. Se encuentra

el volcán chichón

enclavado en la pequeña serranía de Magdalena, porción norte de Chiapas a los $17^{\circ}21.6'$ de latitud norte y a los $93^{\circ}13.8'$ de longitud oeste (figura 2).

Su altura es cercana a los 1 300 metros sobre el nivel del mar y tiene una forma cónica alargada hacia el noroeste; la parte más amplia de la base mide cerca de 5.5 km. En la parte superior presenta un viejo cráter ovalado de 1.9 km por 0.9 km, relleno de material piroclástico, dentro de éste se formó un nuevo cráter, debido a la actividad del 3 y 4 de abril, casi circular y con diámetro mayor a los 600 metros. Hacia el noroeste y suroeste del cráter presenta dos estructuras aparentemente ligadas con viejas bocas adventicias, así como también una estructura que semeja un criptodomo.

El primer reconocimiento científico que se realizó en el volcán se llevó a cabo en 1930 por el Ing. F.K. Mullerried (Universidad de México, Tomo V pp. 156-170), en su reporte constató la intensa actividad fumarólica dentro del cráter, así como la presencia de actividad sísmica en el área. Posterior a esta fecha la actividad sísmica cesó pero mantuvo la actividad fumarólica

la cual se incrementó nuevamente en 1964 al tiempo que volvió a presentarse actividad sísmica local.

En 1974 una expedición formada por P. Damon de la Universidad de Arizona (USA) y E. Montesinos del Consejo de Recursos Minerales de México (Arizona Geol. Soc. Digest, Vol. XI), reportaron la presencia de un domo dentro del cráter principal y actividad fumarólica intensa, algunas de éstas semejantes a geisers con altura superior a los 50 metros; estimaron en 950 metros la altura del edificio volcánico y observaron alteraciones en las rocas debido a la alta temperatura con presencia de azufre.

Estudios realizados durante 1980 y 1981 por la Comisión Federal de Electricidad en las áreas de Guayabal, Juárez agua tibia y arroyo caliente (CFE Reporte del área Geotérmica de la zona del Volcán Chichón), permitieron comprobar la presencia de aguas termales con temperaturas del orden de 250 a 300°C. Los análisis geoquímicos de estas aguas comprobaron la presencia de una fuerte interacción roca-agua por medio de agentes químicos como bicarbonatos,

ácido sulfhídrico y cloruros, indicando la existencia de zonas de alta permeabilidad e intenso fracturamiento.

Tanto Mullerried, en su reporte de 1930, como Damon y Montesinos en su reporte de 1974, señalan la presencia de una densa vegetación selvática rodeando al volcán, lo cual requirió del uso de machetes para abrir paso en el área cercana al cráter. La presencia de esta densa vegetación indica la ausencia de actividad eruptiva en un pasado cercano, del orden de algunos cientos de años. Más aun, rocas de composición dacítica de hornblenda con fenocristales de cuarzo y piritas fueron datadas por el método de Potasio-Argón. Esta datación arrojó una edad de 210 mil años (± 19 mil años), lo cual ha sido interpretado como la fecha de la última erupción del volcán. Este aspecto ha causado polémica, F. Mooser de la Comisión Federal de Electricidad es de la idea de que la última erupción ocurrió hace sólo algunos cientos de años, mientras que otros investigadores son de la opinión de que la última erupción ocurrió hace algunas decenas de años.

Estas últimas opiniones están

el volcán chichón

basadas en el análisis preliminar de los diferentes depósitos de ceniza presentes en el área. Actualmente, se están llevando a cabo diversos muestreos que permitan hacer uso de las técnicas de datación con objeto de confirmar las fechas de los episodios pasados. No obstante, la mayoría de los investigadores está de acuerdo en que el volcán se encuentra activo desde finales del Plioceno, es decir, alrededor de 750,000 años.

El modelo generalmente aceptado para describir el origen de los volcanes del centro y sur de México, supone el hundimiento de la placa de Cocos por debajo de la placa americana (figura 3). Dicho hundimiento genera una zona sísmica denominada zona de Benioff cuyas características generales se estudian y definen mediante el análisis de los eventos sísmicos del área. El hundimiento de la placa genera una depresión oceánica, la Trinchera de Acaapulco y la distancia desde este punto hasta el volcán es de 350 km. La distancia a la Costa es de 160 km.

La placa de Cocos comienza su hundimiento con un ángulo de 12° ó 15° y cambia brusca-

mente a 40° ó 45° a la altura de la costa de Chiapas; conservando este patrón puede estimarse una profundidad de 150 ó 160 km para el origen del material magmático que alimenta al volcán. Generalmente el conducto que une a este material fundido con el cono superficial se forma mediante una serie de fracturas, las cuales cerca de la superficie forman un conducto que por lo común se encuentra lleno y tapado con rocas solidificadas. Cuando la presión y la temperatura dentro de esta chimenea exceden un cierto valor crítico ocurre una erupción. Este proceso comúnmente va acompañado de pequeños temblores resultantes del fracturamiento de la roca vecina a la chimenea o a la cámara magmática superficial, en caso de existir, debido a la alta presión dentro de ésta.

La actividad eruptiva

La presencia de actividad sísmica en la zona se hizo presente varias semanas antes de la primera fase eruptiva; el promedio de eventos sísmicos, para el mes de marzo, con magnitud mayor a 1.5 (Mc) fue de 4 a 6 por día; incluso J. Havskov del Instituto de Ingeniería de la UNAM reportó un evento de magnitud 4 (Mc)

para el día 6 de marzo. Esta actividad sísmica culminó con una erupción violenta del volcán el domingo 28 de marzo a las 23:32 horas locales. La actividad se clasificó como vulcaniana con grado de explosividad intermedia, presentando abundante emisión de ceniza, pómez y fragmentos de rocas pertenecientes a la parte superior del edificio. Fue característico la ausencia de lava en forma fluida durante esta etapa y las posteriores.

La emisión tuvo lugar por medio de un pequeño cono que se desarrolló en la parte central del cráter, y tuvo una duración aproximada de una hora con máxima intensidad, la cual disminuyó gradualmente hasta convertirse en una emisión lenta pero continua de ceniza. Imágenes de satélite mostraron que la columna eruptiva formó un hongo de más de 100 km de diámetro y alcanzó la tropopausa, es decir, unos 18 km, a las 3:00 horas del día 29. La nube se desplazó hacia Yucatán, Cuba y Hatí.

La caída de ceniza se extendió hasta cubrir una área mayor a 30,000 km² afectando plantíos de café, cacao y plátano al mismo tiempo que afectó los pasti-

el volcán chichón

zales de las zonas ganaderas de los estados de Tabasco y Chiapas (figura 4). Asimismo, los poblados de Pichucalco, Nicapa, Ixtacomitán, Tectupan, Colonia el Volcán, Guayabal, Francisco León y Ostuacan quedaron cubiertos por una gruesa capa de ceniza y pómez.

Diversas emisiones de ceniza fueron observadas por satélite los días 30 y 31 de marzo, así como el 2 de abril; ésta última alcanzó una altura de 3.5 km en solo 30 minutos.

Tanto el Instituto de Geofísica como el Instituto de Ingeniería de la UNAM enviaron brigadas con objeto de instalar equipo sismológico para realizar un análisis de los patrones sísmicos acompañantes del proceso eruptivo. Con esta información fue posible observar que el número de microsismos se duplicó cada día a partir del 31 de marzo terminando con una frecuencia mayor a los 30 eventos por hora el día 3 de abril. Ese mismo día, a las 19:35 horas el volcán inició una nueva fase explosiva muy violenta con duración mayor a 30 minutos. Posteriormente, después de una relativa calma, ocurrió la última fase explosiva violenta hasta la fecha a las 5:30

horas del día 4 de abril. Esta última fase tuvo una duración aproximada de una hora 15 minutos.

Estas dos últimas erupciones fueron acompañadas de un fenómeno particularmente destructivo denominado flujo de piroclastos. Estos flujos consisten de una emisión de gas y ceniza caliente hacia los lados y hacia abajo, a lo largo de los flancos del volcán; dichos flujos arrastraron una cantidad considerable de pómez y bloques. Las pómez llegaron a tener incluso un diámetro superior al metro y las temperaturas registradas en los extremos de los flujos 3 días después de la erupción fueron de 200° a 15 cm de profundidad y 360° a 40 cm de profundidad. Los extremos de los flujos fueron localizados entre 6 y 8 km del volcán, lo cual permitió estimar una temperatura de 800° a 900° para la salida del flujo.

El frente de onda que acompañó a los flujos, producto de la explosión, logró derribar desde la raíz árboles con un diámetro superior a los 80 cm; el frente del flujo logró velocidades superiores a los 50 m/seg y causó estragos severos en las comunidades ganaderas vecinas al volcán. Hasta el momento se han obser-

vado 6 de estos flujos, los cuales bajaron por las cañadas principales, en forma radial y presentaron una longitud de 6 a 8 km por 0.2 a 0.3 km de ancho.

La destrucción fue total en los poblados de Francisco León, poblado del volcán, Colonia el Volcán Chichonal, San Isidro Tanchichal, Juárez Agua Tibia, la Trinidad y El Naranjo. Destrucción severa se observó en los poblados de Xochimilco, Guayabal, Chapultenango y Nicapa. En muchas áreas se pudo apreciar la dirección de los flujos por el rastro de árboles caídos en una dirección preferencial, incluso en uno de los poblados se observó la falla de las paredes de las casas que estaban situadas perpendicularmente a la dirección del flujo. El área con devastación total se estimó en 250 km², dicha área estaba habitada por 8 000 a 10 000 personas. El número de muertes es desconocido pero se estima superior a las 200 personas y el de heridos superior a los 500.

Los flujos piroclásticos han sido clasificados por S. de la Cruz como intermedios entre tipo St. Vincent y Krakatoa ya que se originaron en el cráter principal pero tuvieron su componente

el volcán chichón

más importante proveniente del colapso de la columna eruptiva y fueron acompañados por lluvia de pómez.

Posterior a la erupción del 4 de abril, la actividad ha ido decreciendo en forma continua y uniforme; se observaron emisiones de ceniza los días 5, 6, 8 y 9 de abril, las cuales tenían un notorio olor a azufre. La actividad sísmica ha ido decreciendo y de 30 a 40 eventos por hora pasó a 20 ó 25 eventos por día a finales de abril y 10 ó 15 eventos por día a finales de mayo.

Efectos de las erupciones

Desde el primer informe emitido por el Instituto de Geofísica de la UNAM y fechado el día 1o. de abril, se apuntó el alto riesgo que presentaba, para el área dentro de los 12 km de radio, la actividad eruptiva. En dicho informe se estimó en 70% la probabilidad de una nueva erupción, la cual tuvo lugar 3 días después de emitido. Para esta área de 12 km en radio se estimó como muy alto el riesgo por flujos piroclásticos y por lahares. La palabra lahar es de origen indonesio y hace referencia a las avalanchas de lodo. Este fenómeno ocurre cuando se mezclan las cenizas volcánicas con agua, sea

esta proveniente del volcán debido a una erupción freática o que tenga un origen pluvial. En el caso del Chichón, uno de los flujos piroclásticos, el mayor de ellos, emitido en dirección sur oeste-oeste produjo una gran acumulación de ceniza sobre el cause del río Sayula-Magdalena-Ostuacán, a la altura del afluente Tuspac. Esta acumulación actuó como un dique que comenzó a retener el agua del río casi en su totalidad.

El río mencionado nace en la región de Ocotepéc, 20 km al sureste del volcán y en su avance hacia la región de Ostuacán va aumentando su caudal debido a la presencia de más de 20 afluentes. Las lluvias iniciadas en la región de Ocotepéc a mediados de abril, provocaron la formación de una laguna, debido a la presencia del dique, unos 3.5 km adelante de Francisco León sobre el curso del río. El dique mismo, estaba formado por un depósito de ceniza que cubría cerca de 1 km sobre el curso del río. La laguna fue creciendo rápidamente llegando a contener 26 millones de metros cúbicos para la segunda quincena de abril y 40 millones de metros cúbicos para la primer quincena de mayo.

La laguna formada, de 4 kilómetros de largo por 300-500 metros de ancho y profundidad variable representó un peligro potencial serio para la población de Ostuacán, la cual con cerca de 8 000 habitantes fue nuevamente habitada durante la primer semana de mayo.

Un reporte especial entregado a la Secretaría de la Defensa Nacional por el personal del Instituto de Geofísica, permitió establecer un plan de acción en caso de rompimiento del dique; el cual se presentó finalmente el día 26 de mayo y provocó una avenida de agua y lodo a alta temperatura. Al abrirse paso sobre el depósito de ceniza caliente, el agua se calentó y bajó con una temperatura de 90°C la altura del poblado de Xochimilco, 82°C a la altura de Ostuacán y llegó a Peñitas con una temperatura de 50°C. En este último punto, el agua chocó con la cortina de una presa y levantó una columna de agua caliente lo cual provocó algunos daños y quemaduras a los trabajadores presentes en ese momento. No obstante, la población de Ostuacán fue evacuada a tiempo y los daños causados allí fueron sólo materiales.

el volcán chichón

Los mayores daños debido a este fenómeno se produjeron en la fauna del río, el cual contaba con lagartos, tortugas, cangrejos, diversas especies de peces y otras especies acuáticas; hasta el momento no ha sido posible cuantificar el daño provocado a dicha fauna ni tampoco estimar la posibilidad de su recuperación. Cabe hacer notar que el periodo de lluvias en el área se inició en junio y que la mayor precipitación pluvial será presente en los meses de agosto y septiembre por lo cual resulta recomendable continuar la vigilancia aérea del área con objeto de prevenir la formación de fenómenos similares.

Esta vigilancia debe estar coordinada con la vigilancia de la actividad del volcán puesto que no puede asegurarse que la actividad haya cesado completamente, el presente estado tanto sísmico como fumarólico puede calificarse como estacionario y debe ser monitoreado en forma ininterrumpida.

Resultados preliminares

La serie de erupciones del Volcán Chichón, del 28 de marzo al 4 de abril, fueron erupciones vulcanicas con grado de

explosividad de intermedio a alto, caracterizadas por un magma ácido viscoso de composición andesítico. Una gruesa capa de material consolidado superficial permitió la acumulación de gases, probablemente agua, lo cual aumentó la presión interior hasta rebasar la resistencia mecánica de la capa provocando una explosión violenta que abrió un pequeño conducto y deformó la parte superior del domo.

Los gases acumulados fueron resultado del contacto de depósitos acuíferos superficiales con magma caliente. Al abrirse un conducto por medio de la primera erupción, la columna magmática en la chimenea se volvió inestable debido a la liberación de presión y permitió la liberación de mayores cantidades de gas, agua, óxido de azufre y carbono, ácido sulfhídrico y clorhídrico, etc. Estos gases volvieron a acumularse cerca de la superficie originando dos nuevas explosiones violentas las cuales abrieron un nuevo cráter de más de 600 metros de diámetro.

La emisión consistió de material muy fragmentado y provocó flujos piroclásticos tipo intermedio St. Vincent-Krakatoa en las 2 últimas fases eruptivas. Estos flujos tuvieron una distribución

radial siendo 6 flujos principales.

Las columnas eruptivas penetraron en la atmósfera con alta velocidad alcanzando los 20 km de altura y dispersando la ceniza de acuerdo a su diámetro en función de las condiciones meteorológicas dominantes. El área cubierta con un espesor de ceniza mayor a los 0.1 cm fue cercana a los 37 000 km² lo cual implica un volumen total arrojado de 0.5 km³ con densidad media de 1.2 gr/cc. Esto representa seiscientos millones de toneladas de ceniza y material fragmentado.

El área cubierta con un espesor mayor de los 5 cm fue de 750 km² y abarcó poblaciones en una área de 12 km en radio. En algunos lugares el espesor de ceniza alcanzó varios metros, como es el caso de la población de Francisco León a sólo 5 km del volcán.

Considerando la cantidad de masa arrojada y el tiempo de duración de las erupciones principales es posible calcular el gasto en masa, el cual resulta ser de setenta mil toneladas por segundo. De acuerdo a este gasto en masa, es factible calcular la altura de la columna eruptiva en cada una de las 3 erupciones principales y los resultados teóri-

el volcán chichón

cos (tabla I) concuerdan bastante bien con las mediciones realizadas por la NOAA mediante el uso de satélites.

Los fragmentos mayores a 30 cm de diámetro tuvieron una dispersión en una área de 6 km en radio y los fragmentos mayores a los 10 cm se dispersaron en una área de 12 km en radio. El peso de la ceniza provocó el colapso de los techos de las casas en varios poblados, como es el caso de la Iglesia de Nicapa el cual se desplomó durante la primera erupción y provocó heridas en las personas que se encontraban refugiadas en ella. En Ixtacomitán se colapsó el 20% de los techos de las casas y en Pichucalco el 5%. Considerando una densidad de 1.2 gr/cc para la ceniza, el peso por metro cuadrado que resintieron los techos fue de 12 kg por cada centímetro de ceniza acumulado. Este dato es para ceniza seca, el peso aumentó considerablemente durante las primeras precipitaciones pluviales.

Estos datos son importantes pues permiten hacer un mejor análisis en lo tocante a riesgo volcánico en el área comprendida entre los 12 y los 18 km en radio; en esta área la caída y la velocidad de acumulación de ceniza consistió en el principal fac-

tor de riesgo. El diseño de estructuras adecuadas para impedir la acumulación de ceniza sería recomendable sobre todo para las casas que van a ser reconstruidas en el área.

Sismicidad

Antes de la erupción, en el área sur del volcán la Comisión Federal de Electricidad instaló, junto con el Instituto de Ingeniería de la UNAM, una red sísmológica telemétrica de 6 estaciones de una componente y periodo de 1 segundo. Dicha red, en operación desde 1980, fue instalada con objeto de estudiar la sismicidad inducida en el área por la presencia de presas. No obstante que la estación, de la red, más cercana al volcán dista 25 km, se logró tener registro de la actividad sísmica premonitora de la actividad eruptiva. Esta información está actualmente analizándose.

La red sísmológica fue aumentada con 10 estaciones de papel ahumado, a partir del 31 de marzo. La instalación fue llevada a cabo por personal de los Institutos de Geofísica y de Ingeniería de la UNAM. Se lograron instalar algunas estaciones a sólo 4 km del volcán por periodos cortos lo cual permitirá una

mejor determinación de la profundidad de los eventos. A partir de enero las poblaciones del área empezaron a sentir actividad sísmica en un promedio de 4 a 6 eventos por semana. Para finales de febrero, la sismicidad aumentó a 2 ó 3 por día y para la primera semana de marzo cerca de 20 eventos por día. Entre esta actividad destaca un evento de magnitud 4.1 (Mc) ocurrido el día 6 de marzo. Durante el mes de marzo la actividad aumentó no sólo en la cantidad de eventos sino también la magnitud de los mismos, observándose un promedio de 4 eventos por día con magnitud mayor a 1.5 (Mc).

R. Mota observó la presencia de varios tipos de eventos sísmicos; el análisis de estos eventos efectuado por J. Havskov separó 4 tipos. Los eventos tipo 1 corresponden a señales sin fase S clara con un amplio rango en magnitud. Los tipo 2 presentan alta frecuencia en la fase P, sin fase S clara y un largo tren de ondas superficiales. Los tipo 3 presentan baja frecuencia en la fase P, sin fase S clara y un tren de ondas superficiales muy armónicas. Finalmente, los tipo 4 aparecen como típicos eventos tectónicos con fases P y S claras y con aparente profundidad entre 12 y 18 km, a diferencia de

el volcán chichón

los anteriores cuya profundidad se estima inferior a los 5 km.

Los eventos tipo 2 y 3 tuvieron un incremento notable antes de la erupción del 28 de marzo, llegando a tener una frecuencia de 1 ó 2 por minuto. Después de la erupción del día 28, la sismicidad bajó considerablemente hasta el día 30 de marzo, fecha en la cual comenzó un acelerado aumento, observándose que fueron solamente eventos tipo 2 los que precedieron a las erupciones de los días 3 y 4 de abril. Los eventos tipo 4 fueron observados en el lapso entre la erupción del día 3 a las 19:35 horas y la erupción del día 4 a las 5:30 horas. Este tipo de eventos continuó después de esta última erupción y su frecuencia decreció de 50 por hora en los días 4 y 5 hasta ser sólo de 10 ó 12 por día en los meses de mayo y junio.

Los eventos tipo 1 fueron observados principalmente durante los primeros 20 días de marzo. Existe una característica peculiar observada antes de la erupción del día 28 y que fue observada en una de las erupciones del Volcán Santa Helena de los Estados Unidos, ésta consiste de un periodo de calma sísmica durante un lapso de 1 ó 2 horas antes de la erupción.

Los epicentros forman una nube localizada principalmente en la parte este del volcán, y se está llevando a cabo el análisis de sus características focales así como de su profundidad.

Geoquímica

Aún cuando los diferentes reportes de la composición química de la ceniza volcánica varían mucho, el análisis efectuado por Fertimex parece ser el más confiable. Este análisis asigna un 66% de óxido de sílice, 12% de óxido de aluminio, 35% de óxido de hierro, 4% de óxido de calcio y 4% de óxido de potasio. Los análisis petrológicos sugieren que el material tiene una composición andesítica o dacítica (tabla II).

Los datos geoquímicos podrán proporcionar mayor información sobre la génesis y desarrollo del volcán; algunas interpretaciones preliminares han sido en el sentido de que la génesis del volcán no está ligada a la zona de subducción sino a un sistema de fallas profundas. Sin embargo, el análisis preliminar de los mecanismos focales de los eventos sísmicos son consistentes con una dirección de esfuerzo principal en dirección NE-SO, lo cual apoya al modelo

basado en la subducción. Más aún, los esfuerzos principales, en el área son de tipo compresionales y no tensionales como es el caso del eje volcánico, este dato podría explicar el por qué existe poco volcanismo en esta zona.

Otro tipo de monitoreos geoquímicos se están llevando a cabo en colaboración con el ININ y con el Instituto de Physique du Globe de la Universidad de París, estos consisten en la medición de los niveles de Radón en el área y de la composición de los gases de las fumarolas que emite el cráter. Ambas técnicas han sido poco empleadas, considerándose que están en una fase experimental; sin embargo hay diversos reportes que sugieren una correlación entre el aumento de gases con contenido de azufre y las erupciones volcánicas. Asimismo, la concentración de los diferentes gases, tomando en cuenta su proporción relativa, podrán indicar la profundidad a la cual se encuentra el nivel de exsolución de la componente gaseosa en el conducto.

En lo que respecta al monitoreo de Radón, existen actualmente alrededor de 10 pozos, de un metro de profundidad, alrededor del volcán, en ellos se encuentran placas sensibles a la

el volcán chichón

radiación alfa la cual mide en forma indirecta la variación en la emisión de radón desde los estratos internos. Dicha emisión está correlacionada con el fracturamiento local y con el aumento en la temperatura. El muestreo se lleva a cabo periódicamente y ha sido posible observar un decaimiento, en el tiempo, de la emisión en la etapa posterior a la erupción. Este patrón sugiere que antes de la erupción la emisión debe ir en continuo ascenso.

Aún cuando esta hipótesis no ha sido confirmada, resultados preliminares de otros volcanes, son muy prometedores en lo tocante a predicción de eventos volcánicos. Estas técnicas están actualmente implementándose en volcanes de Hawai, Estados Unidos, Centroamérica y México. La investigación la está coordinando la Dra. Nuria Segovia, investigadora del ININ, y se está extendiendo el método para su aplicación en el estudio de eventos sísmicos.

Gravimetría

Con objeto de elaborar modelos de la estructura interna del volcán, consistente con la información sísmica y geoquímica, se hizo uso del plano de anomalía gravimétrica residual (fig. 6).

Este plano así como otros datos del área fueron proporcionados por la Gerencia de Villahermosa de Petróleos Mexicanos. La estructura de los estratos superficiales del área se han podido inferir con base en los datos proporcionados por 2 pozos exploratorios de 3 y 4 km de profundidad localizados unos 5 km hacia el oeste del volcán, el pozo Unión 3, y 5 km hacia el este, el pozo Caimbo 12. El registro de velocidades sísmicas ha permitido observar la presencia de capas de baja velocidad entre los 2.5 y los 3 km, sugiriendo un estrato de areniscas las cuales se encuentran debajo de una gruesa capa de lutitas.

Las velocidades superficiales difieren mucho según la dirección, hacia el oeste la velocidad promedio de los primeros 500 metros es de 2.5 km/seg y hacia el este es de 4.3 km/seg. La secuencia de estratos sugiere la presencia de una falla inversa en dirección NO-SE, levantándose la parte al este del volcán.

El hecho de que se presenten velocidades muy diferentes según la dirección, implica la existencia de una zona compleja que dificulta mucho la localización de los focos sísmicos. El análisis preliminar de los datos gravimétricos permite ver claro tren de

anomalías asociado a una falla en dirección NO-SE con máximos negativos hacia la parte oeste del volcán.

Los modelos gravimétricos preliminares están tratando de determinar el rango en profundidad de este sistema de fallas asociado al volcán, así como también, se está tratando de estimar las anomalías son compatibles con la presencia de una cámara magmática superficial en el área.

Adicionalmente, se está usando un gravímetro de gran precisión, en el rango de microgales, con objeto de analizar variaciones temporales en el área. Se han instalado hasta el momento más de diez bases alrededor del volcán y se está llevando a cabo un monitoreo periódico. En caso de producirse variaciones temporales, estas tendrían que ser correlacionadas con cambios en densidad y temperatura de los materiales presentes en los estratos inferiores del volcán y/o con variaciones en el nivel de altura de la superficie; este último punto está ligado con el monitoreo de las deformaciones verticales en el área las cuales están generalmente correlacionadas con la actividad volcánica.

En un futuro cercano se piensa ampliar el monitoreo de estas

el volcán chichón

deformaciones con la ayuda de un telurómetro, lo cual proporcionará información acerca de los desplazamientos y deformaciones horizontales ocurridos en la superficie. Asimismo, se empezará a levantar información magnetométrica cuyo análisis permitirá corroborar los modelos elaborados con los datos gravimétricos.

Características de la columna eruptiva

En colaboración con investigadores de la Universidad de Rhode Island, se están llevando a cabo muestreos de los espesores de ceniza depositados en cada una de las erupciones así como el análisis del tamaño de grano depositado en función de la distancia. Este estudio permitirá un mejor conocimiento del comportamiento de la columna eruptiva así como la influencia de las condiciones meteorológicas en su desarrollo.

Existen actualmente varias hipótesis acerca de la formación de ceniza volcánica. La más generalizada es la denominada vesiculación que propone el crecimiento de burbujas de gas, en el seno del material magmático, más rápidamente que su ascenso por flotación. Esto se debe

principalmente a la alta viscosidad del magma. En esta forma, al juntarse varias burbujas, en un elemento de volumen de magma, fragmentan la lava y atrapan dichos fragmentos en los intersticios entre las burbujas. Este proceso ocurre con gran rapidez y provoca una explosión arrojando el material fragmentado a la atmósfera con un amplio rango en el tamaño de las partículas.

Este proceso ocurre dentro de la chimenea y provoca un flujo de gas y material fragmentado que al entrar a la atmósfera forma una columna. Al entrar a la atmósfera, la columna incorpora aire a temperatura ambiente y se enfría a la vez que forma un hongo con diámetro mayor en el frente de la columna. En principio las partículas de ceniza deben distribuirse radialmente alrededor del volcán a su caída, sin embargo esto ocurre solamente para aquellas partículas cuyo diámetro y peso es independiente del efecto del viento local. En esta forma, los depósitos de ceniza tienen fragmentos grandes en la base y fragmentos muy finos en la superficie; esta distribución de tamaños también se observa con respecto a la distancia.

En el caso del Chichón, los vientos predominantes estuvieron

presentes en dirección NO provocando que los depósitos de ceniza se extendieran más en esta dirección. Una parte de la columna logró penetrar en la estratosfera, por arriba de los 18 ó 20 km de altura, esta capa atmosférica es relativamente estable y ocasiona que el material quede atrapado por tiempos prolongados antes de su deposición en la superficie. La nube de fragmentos muy finos en esta capa darán varias vueltas alrededor de la tierra y se calcula que tardará en disiparse esta nube un tiempo de decenas de meses.

La ceniza volcánica que queda en la troposfera, capa atmosférica antes de los 18 km, se deposita más rápidamente debido a la acción de las lluvias y vientos, sin embargo se estima que alterará las condiciones climatológicas locales en una pequeña proporción (variaciones en temperatura del orden de 1°C).

Actividad a futuro

Por el momento no hay forma de estimar la posible actividad a futuro en el volcán, pero se piensa que es alta la probabilidad de nuevas erupciones. El análisis de uno de los volcanes cercanos, el San Martín Tuxtla en Veracruz muestra que un periodo activo

el volcán chichón

del tipo explosivo puede extenderse hasta periodos mayores a los 30 años con 8 ó 10 etapas explosivas violentas separadas por periodos de calma del orden de meses. Aun cuando hay diferencias significativas entre este volcán y el Chichón, este patrón también se ha observado en otros volcanes como el Colima; debiendo tomarse este aspecto como uno de los estados probables del volcán para el futuro. Por otro lado, también existe la posibilidad de que la actividad cese y el presente estado estacionario se extienda por un periodo a decenas o centenas de años. El comportamiento que pueda tomar es aún incierto y sólo el análisis completo de los diferentes aspectos mencionados con anterioridad podrán ayudar a realizar un efectivo pronóstico.

En cualquier caso, es indispensable continuar con el monitoreo de vigilancia volcánica y empezar con la elaboración de una carta de riesgo volcánico para el área. Por riesgo volcánico se entiende la posibilidad de pérdidas humanas o materiales debidas a la acción destructiva de un evento volcánico. La evaluación cuantitativa del riesgo puede llevarse a cabo entendiéndolo como una función de 3

parámetros: Inversión, vulnerabilidad y peligro.

El parámetro inversión es la medida de los recursos humanos y de capital, entendiendo este último como construcciones, fábricas, plantaciones agrícolas etc, que se encuentran en el área de riesgo. El parámetro de vulnerabilidad se refiere a la proporción de la inversión expuesta en diferente grado a riesgo; este parámetro se evalúa en términos de la actividad predominante en el volcán y el alcance de la misma. El parámetro peligro es el más complejo de los tres y se refiere a la evaluación numérica de la probabilidad de que una área en particular se vea afectada por la acción volcánica durante un lapso determinado. De ser factible este parámetro debe incluir un factor de peso que refleje la intensidad del tipo de erupción esperada.

Para la evaluación de este último parámetro es necesario profundizar en los estudios antes mencionados, así como también reconstruir la historia eruptiva del volcán lo más extensa posible. La elaboración de mapas que indiquen las áreas afectadas en erupciones pasadas, el tipo de erupción y su frecuencia es recomendable, puesto que proporciona la base estadística ade-

cuada para evaluar la probabilidad de una futura erupción.

Debido a la importancia agrícola, ganadera y petrolera del área, así como la planificación de los nuevos asentamientos que se están llevando a cabo, es recomendable elaborar una evaluación del riesgo volcánico así como programar su vigilancia por medio de las diferentes técnicas geofísicas y geoquímicas que permitirán la predicción a corto plazo si son utilizadas adecuadamente.



FOTO Jorge Rivera

el volcán chichón

VOLCAN CHICHON ERUPCION - 1982

Fecha	Material arrojado	Gasto (m)	Altura de la columna
Marzo 28	1.8×10^{11} kg	5×10^7 kg/seg	19.7 km
Abril 3	1.2×10^{11} kg	6.6×10^7 kg/seg	21.2 km
Abril 4	3.0×10^{11} kg	4.1×10^7 kg/seg	18.8 km
	H = 236.6 (m)	(Wilson, 1976)	

COMPOSICION DE LAS MUESTRAS DE CENIZA DEL VOLCAN CHICHON

SiO ₂	66.4%
Al ₂ O ₃	12.9%
Fe ₂ O ₃	2.1%
FeO	1.2%
MnO	0.1%
MgO	1.6%
CaO	4.1%
Na ₂ O	4.3%
K ₂ O	3.6%
P ₂ O ₅	0.6%
Otros	3.1%

Fuente Fertimex

el volcán chichón

VOLCAN CHICHON

Distancia	Espesor de ceniza
km	cm
5	50
10	25
20	4
50	1.5
100	0.3
200	0.1
400	0.05

$D = D_o \cdot X^b$

$X = \text{distancia en km}$

$D_o = 783.18$

$b = -1.655$

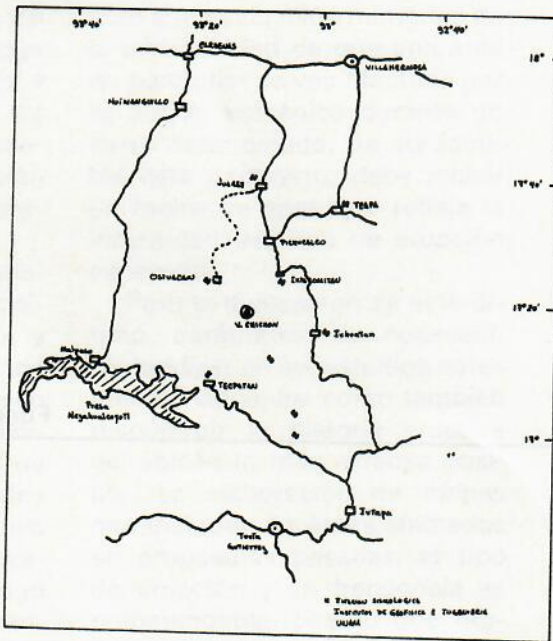


Figura 1.

el volcán chichón

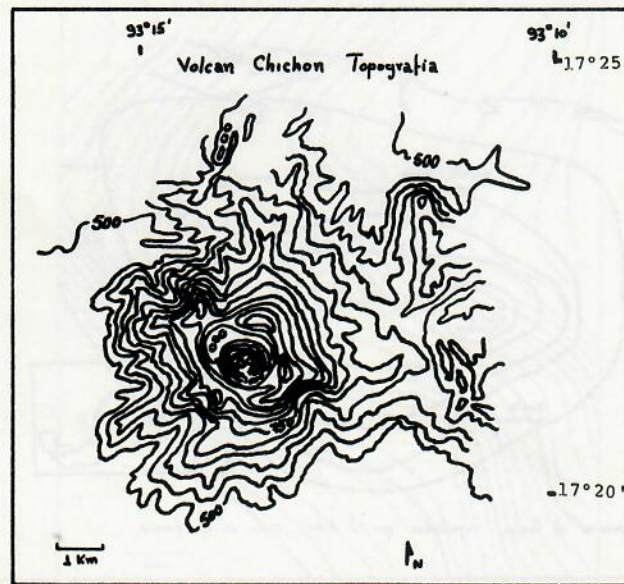


Figura 2.

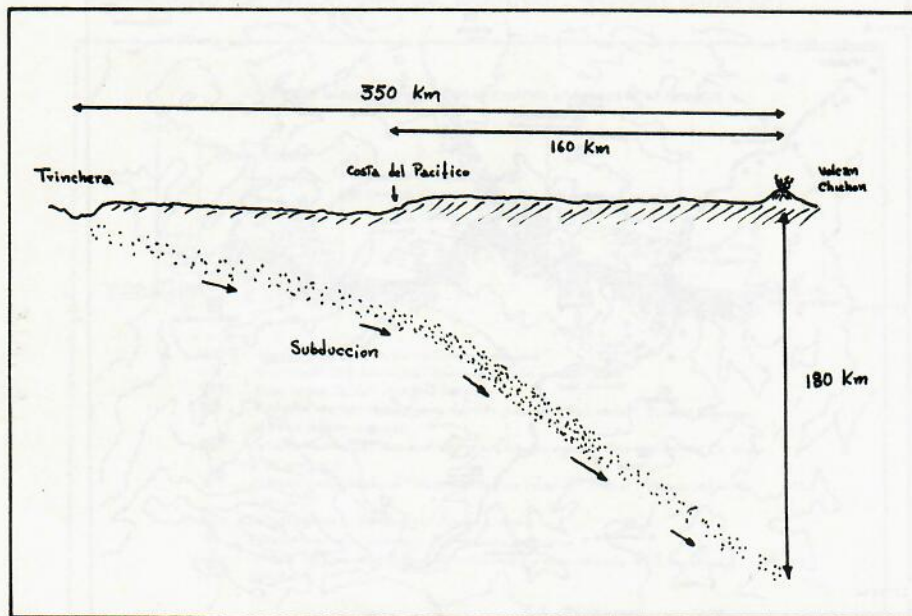


Figura 3.

el volcán chichón

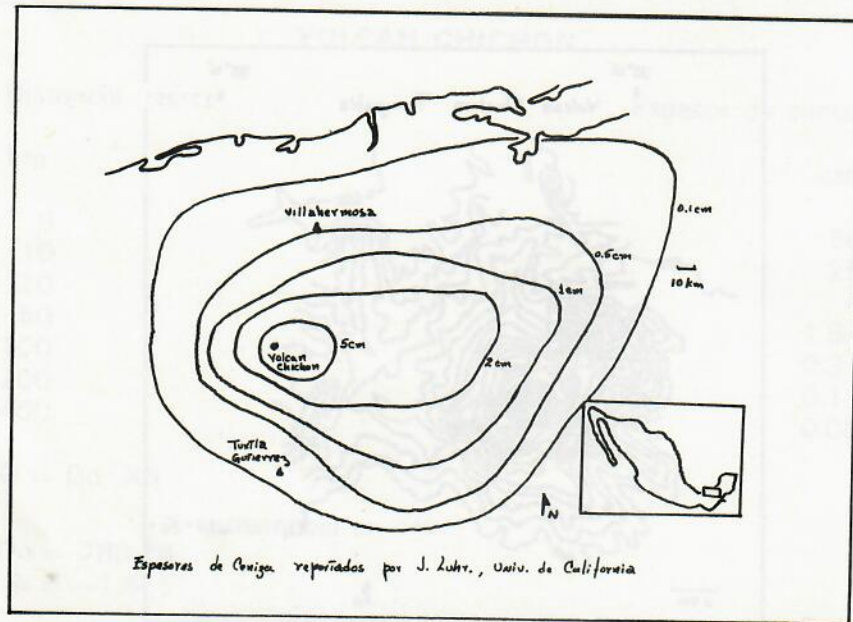


Figura 4.

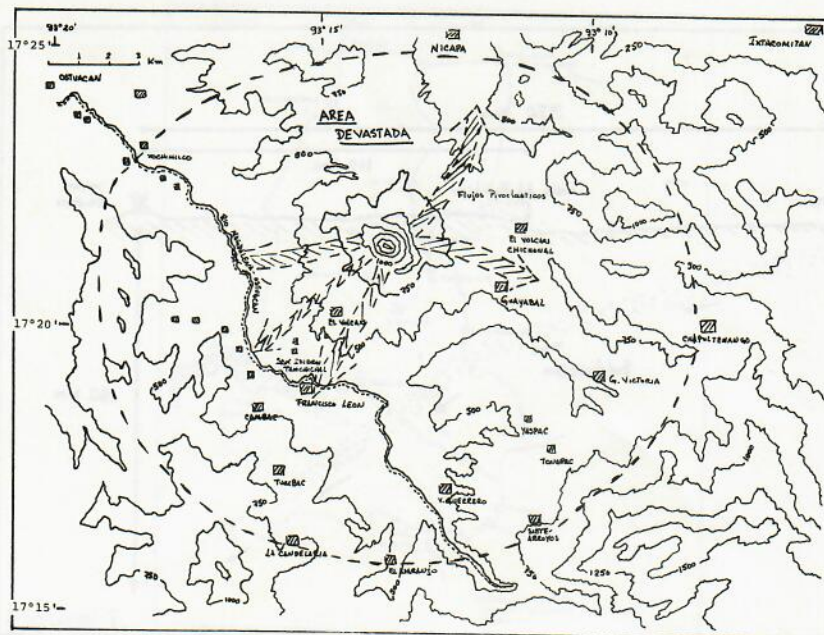


Figura 5.

el volcán chichón

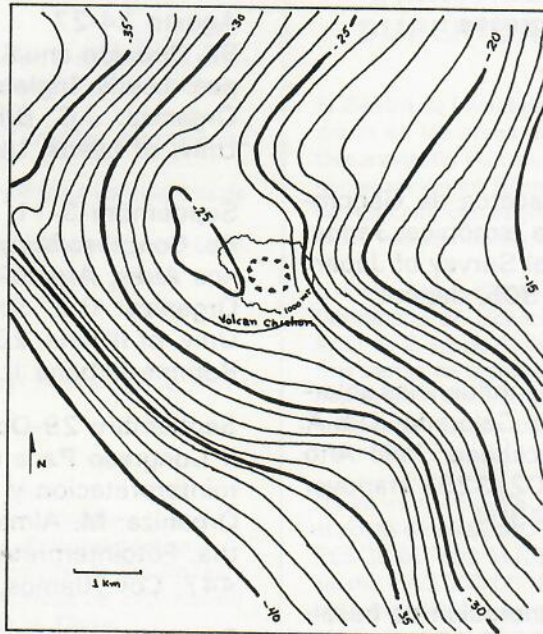


Figura 6.
Plano de Anomalia de Bouguer, Volcán Chichón.

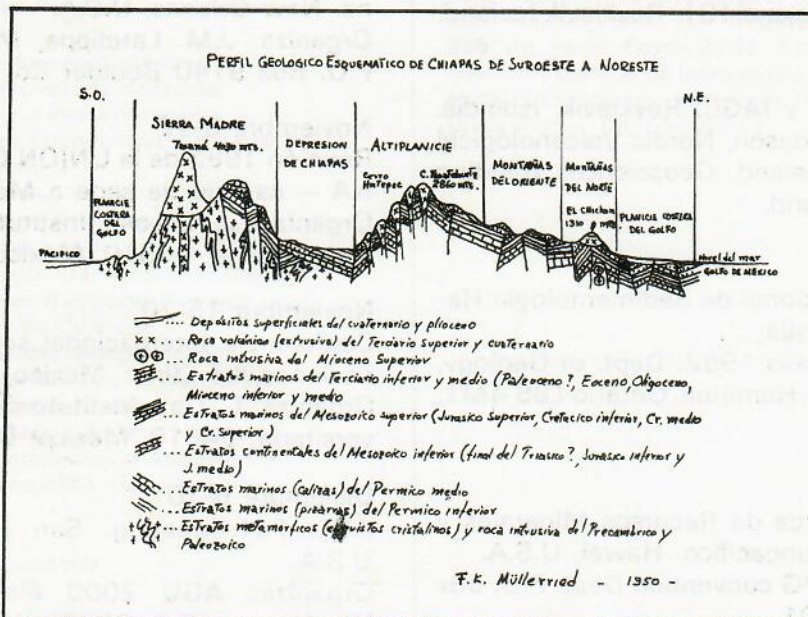


Figura 7.